

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Konstrukce kamerového subsystému pro pásový robot Ares

Construction of a Camera Subsystem for the Tracked Robot Ares

Student: Tomáš Janík

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Studénka

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Janík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Specializace: 70 Robotika
Téma: **Konstrukce kamerového subsystému pro pásový robot Ares**
Construction of a Camera Subsystem for the Tracked Robot Ares

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu kamerových systémů a subsystémů používaných v robotice. Seznamte se s touto problematikou a problematikou týkající se přenosu a zpracování obrazu v oblasti servisních robotů.
2. Navrhněte tři varianty řešení konstrukce kamerového subsystému servisního robotu Ares.
3. Hodnotovou analýzou vyberte optimální variantu řešení.
4. Vybranou variantu zpracujte ve formě technického řešení. Doložte potřebnými výpočty a výkresem sestavy.
5. Proveďte zhodnocení navržené varianty.
6. Práci doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systému Pro/Engineer (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

- KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.
- SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování v oboru*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1993. 152 s. ISBN 80-7078-167-X.
- SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- SKAŘUPA, Jiří; MOSTÝN, Vladimír. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1.vydání, Košice: Edice vědecké a odborné literatury – Strojní fakulta TU v Košicích, 2002. 190 s. ISBN 80-88622-55-0
- ŠOLC, František; ŽALUD, Luděk. *Robotika* [online]. Brno : FEKT VUT v Brně, 1.10.2002 Dostupné z WWW: <http://matescb.skvorskmal.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf>. [e-kniha]
- NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy*. I. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000, 104 s. ISBN 80-7078-733-3.
- KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. [online] Dostupné z www: <<http://robot.vsb.cz/podklady-pro-vyuku/>>

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JANÍK, T. Konstrukce kamerového subsystému pro pásový robot Ares: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2012, 56 s. Vedoucí práce: Studénka, M.

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí kamerového subsystému pro pásový robot Ares, který je sestavený na katedře robototechniky. V úvodu se práce věnuje analýze zhotovených kamerových subsystémů, na základě níž jsou navrženy varianty řešení s různými kinematickými schématy. Hlavní část práce se věnuje detailní konstrukci vybrané varianty. Navržený kamerový subsystém zkonstruovaný v CAD systému Creo, má pět pohybových os poháněných servomotory. Konstrukce umožňuje pozorování pracovního prostoru robotu z výšky 1,5 metru. Subsystém je opatřen plechovým krytváním pro zajištění odolnosti proti nepříznivým povětrnostním podmínkám a mechanickému poškození.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

JANÍK, T. Construction of a Camera Subsystem for the Tracked Robot Ares: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotic technology, 2012, 56 p. Thesis head: Studénka, M.

The bachelor thesis is dealt with construction of a camera subsystem for the tracked robot Ares, which is constructed at department of robotic technology. In the beginning the thesis is paid to analyses of made camera subsystems, proposed variants with different kinematic schemes are based on this analyses. The main part of the thesis give attention to detailed design of choice variant. Proposed camera subsystem which is constructed in CAD system Creo, have five axis of movement driven by servomotors. Construction enables sighting of work volume from a height of 1,5 meters. Subsystem is equipment with sheet-metal cover by reason of ensure resistance against unfavourable weather condition and mechanical damage.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	5
1 Úvod	6
2 Rešerše.....	7
2.1 Kamerové subsystémy mobilních robotů.....	7
2.2 Kamera	10
2.3 Přisvětlování kamer	12
2.4 Zapojení kamery	13
2.5 Přenos video signálu od robota k operátorovi.....	13
2.6 Rotační pohony	13
2.7 Lineární pohony a jednotky	15
3 Požadavkový list.....	18
4 Varianty řešení	18
4.1 Varianta č. 1	18
4.2 Varianta č. 2	20
4.3 Varianta č. 3	21
4.4 Varianta č. 4	22
5 Hodnotová analýza	23
6 Konstrukční návrh kamerového subsystému.....	26
6.1 Návrh pohonu pro kloub č. 1	27
6.2 Návrh pohonu pro kloub č. 2	31
6.3 Výpočet pohonu pohybového šroubu	33
6.4 Konstrukční řešení kloubu č. 1	35
6.5 Konstrukční řešení teleskopického ramene	42
6.6 Konstrukční řešení kloubu č. 2	44
6.7 Konstrukční řešení kloubu kamery	47
6.8 Krytování	48

7	Umístění kamerového subsystému na robotu.....	49
8	Cenový odhad.....	50
9	Závěr.....	51
10	Seznam použité literatury.....	52
11	Seznam příloh.....	54

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
a,b	mm	Vzdálenosti
C_O	N	Statická únosnost ložiska
d	mm	Průměr
d₂	mm	Střední průměr závitu
d₃	mm	Malý průměr závitu
F	N	Síla
F₈	N	Maximální pracovní síla pružiny
F_O	N	Síla v ose šroubu
f_Z	-	Součinitel tření mezi závity
g	m·s ⁻²	Gravitační zrychlení
G	N	Tíha
I	kg·m ²	Moment setrvačnosti
I_X	mm ³	Moment setrvačnosti plochy
k	-	Součinitel bezpečnosti
m	kg	Hmotnost
M	N·m	Krouticí moment
M_{Cr}	N·m	Krouticí moment zjištěný v CAD programu Creo
M_o	Nm	Ohybový moment
M_{TZ}	Nm	Třecí moment v závitu
P	mm	Stoupání závitu
p	MPa	Tlak
p_D	MPa	Dovolený tlak
q	-	Váha významnosti
r	mm	Rameno (silové dvojce)
R₁	N	Reakce 1
R₂	N	Reakce 2
W_O	m ³	Modul průřezu v ohybu
α	°	Úhel profilu závitu
ε	s ⁻²	Úhlové zrychlení
σ_o	MPa	Normálové napětí v ohybu
σ_{OD}	MPa	Dovolené napětí v ohybu
φ'	°	Redukovaný třecí úhel
ψ	°	Úhel stoupání závitu
ω	s ⁻¹	Úhlová rychlost

1 Úvod

Kamerové systémy lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- kamerové systémy sloužící k získávání obrazu pro obsluhu, která robot řídí dálkově přes ovládací zařízení,
- kamerové systémy autonomních robotů, u kterých z vizuálních dat robot získává informace pro vlastní řízení, tato data si musí řídicí systém sám přeložit do srozumitelné podoby.

Tématem této práce budou kamerové systémy první skupiny.

Kamerový systém pro získávání vizuálního kontaktu obsluhy s prostředím je základním prvkem mobilních robotů řízených dálkově lidskou obsluhou. Aby toto řešení bylo funkční, je nezbytně nutná možnost polohování v různých směrech nezávisle na samotném robotu. Tuto funkci je možné řešit např. samostatným ramenem určeným pro kamerový subsystém. Tuto koncepci budu dále rozvíjet v této práci. Z výše uvedeného tedy vychází postup řešení úkolu.

Nejdříve je provedena rešerše kamerových subsystémů, které jsou již použity na mobilních robotech. Dále se rešerše věnuje jednotlivým prvkům připadajících v úvahu pro konstrukci subsystému. V další části práce jsou zhotoveny varianty konstrukce s následným výběrem varianty optimální, a to za pomoci hodnotové analýzy. Stěžejní část práce spočívá v detailní konstrukci samotného kamerového subsystému.

Výsledný návrh zpracovaný v této práci by měl sloužit jako podklad pro realizaci kamerového subsystému pro pásový robot Ares zhotoveného na Katedře robototechniky na VŠB, proto je zde kladen důraz na realizovatelnost projektu, což zahrnuje především funkčnost zařízení, jednoduchost konstrukce a co možná nejnižší výrobní náklady.

2 Rešerše

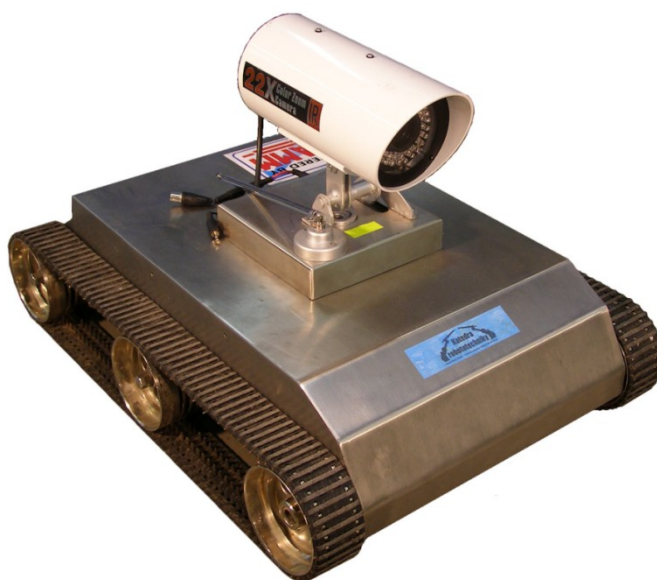
V této kapitole jsou stručně popsány již zhotovené kamerové subsystémy mobilních robotů. V další části je rešerše prvků, které by připadaly v úvahu pro konstrukci kamerového subsystému.

2.1 Kamerové subsystémy mobilních robotů

Kamerový subsystém je velice důležitým prvkem u mobilních robotů. Tyto roboty vykonávají velice často pouze pozorovací činnost a absence či porucha tohoto subsystému by znamenala okamžitou dysfunkci. Z tohoto důvodu bývá kamera či celý kamerový subsystém opatřen krytováním poskytující ochranu před nepříznivými vnějšími vlivy. Celkově lze říci, že tomuto subsystému je při konstrukci robotu věnována velká pozornost.

Jednoduchý kamerový subsystém

Tento pásový robot je opatřen kamerovým subsystémem, který neumožňuje automatické polohování kamery. Z tohoto důvodu je možné pojmout tento subsystém jako nejjednodušší variantu konstrukce. V určitých případech toto řešení vyhovuje nízkým požadavkům na pozorovací schopnosti robotu. Je také zřejmé, že za použití podvozku s diferenciálním řízením, které umožňuje otáčení na nulovém poloměru, je tento kamerový subsystém lépe použitelný než například pro robot s ackermanovým způsobem řízení (obdoba u běžných automobilů).



Obrázek 2.1 - Pásový robot s jednoduchým kamerovým subsystémem

Polohovatelný kamerový subsystém

Tento kamerový subsystém vypadá velice podobně jako předchozí, ovšem zde je již možnost polohování ve dvou osách, čímž do jisté míry odpadá nutnost polohovat s celým robotem v závislosti na rozsahu rotace kolem vertikální osy.



Obrázek 2.2 - Robot s polohovatelným kamerovým subsystémem

Polohovatelný kamerový subsystém na vlastním rameni

Takto koncipovaný kamerový subsystém je schopen pozorovat okolí již zcela nezávisle na poloze samotného robotu. Vesměs jsou zde rozdíly v tom, jaká je možnost pozorování v blízkém prostoru robotu. Zde zpravidla platí, čím větší polohovatelnost ramene, tím je možnost pozorovat bližší objekty větší. Pokud již máme k dispozici takovéto polohovací rameno, je možné jej osadit i jinou senzorickou výbavou. Konkrétně tento kamerový subsystém je osazen také termovizí, dálkovým měřením teploty a měřením vzdálenosti. [21]



Obrázek 2.3 – Příklad kamerového subsystému na vlastním rameni

Polohovatelný kamerový subsystém umístěný na rameni efektoru

Velice často je kamera umístěna na společném rameni s efektozem. Toto uspořádání je vhodné pro pozorování a přesné polohování efektoru. Tímto způsobem je možné docílit, aby objekt manipulace byl správně uchopen a nedošlo tak k poškození např. křehké části. Následně při manipulaci je snadné dosáhnout perfektní kontroly polohy objektu manipulace a také zda nedochází k jeho uvolňování.



Obrázek 2.4 – Kamerový subsystém umístěný na rameni společném s efektozem

Kamerový subsystém umožňující stereovizi

Stereovize je vytvořena složením obrazu ze dvou kamer, které jsou vůči sobě v přesně definované poloze. Tento systém poskytuje operátorovi prostorový vjem, díky kterému je snazší se v prostředí zorientovat. Stereovize také umožňuje měření vzdáleností, přičemž čím kratší vzdálenost je měřena, tím je menší chyba, což vychází z principu triangulace. [14]



Obrázek 2.5 - Kamerový subsystém s možností stereovize

2.2 Kamera

Kamera je bezesporu základním prvkem celého kamerového subsystému. Její možnosti velice ovlivňují užité vlastnosti celého mobilního robotu. Velice užitečná vlastnost je optický zoom, který umožní prozkoumání vzdálených či naprosto nedostupných objektů. Jako další užitečnou vlastnost bych zmínil automatické nebo manuální ostření.

Kamery lze v základu rozdělit na barevné a černobílé.

Barevné kamery mají pro obsluhu vhodnější zobrazení, díky barevnému podání snímaného obrazu, na který je člověk zvyklý. Tyto kamery perfektně postačují za dostatečného osvětlení. Za zhoršených světelných podmínek ovšem poskytují barevné kamery

horší obraz než černobílé, a to kvůli menší citlivosti. Standardní barevné kamery mají citlivost od 1 lux. [1]

Pro představu uvádím tabulku zobrazující příklady intenzity osvětlení v různých situacích.

Osvětlení	Příklad situace
< 1 lux	Měsíční svit
10 luxů	Svíčka ve vzdálenosti 30 cm
400 luxů	Typická kancelář
50 000 luxů	Slunný den

Tabulka 2.1 - Srovnání intenzity osvětlení

zdroj: fotografování.cz

Tento neduh je do jisté míry možno řešit přisvětlením, kterému se budu podrobněji věnovat dále v textu. Nyní ovšem musím zmínit možnost přisvětlení infračerveným světlem [dále také IR]. Toto světlo je v pásmu pro člověka neviditelných vlnových délek, proto se v určitých případech do mobilních robotů velice hodí. [1]

U většiny barevných kamer je ovšem tato možnost velice komplikovaná nebo zcela vyloučena. Běžné barevné kamery jsou vybaveny IR filtrem, který dále toto záření nepropustí, proto jsou barevné kamery na IR záření téměř či úplně necitlivé. Nutnost použití toho filtru tkví v tom, že za běžných podmínek by bylo podání barev velice nereálné díky ovlivnění IR spektrem, bylo by zbarvené do červena až fialova. [1]

Černobílé kamery mají vyšší citlivost standardně od 0,1 lux. Tudíž jsou vhodnější k použití za zhoršených světelných podmínek. Taktéž u nich není problém použít IR přisvětlení, jelikož neobsahují IR filtr. V černobílém zobrazení se takovýto osvit jeví jako běžný.



Obrázek 2.6 - Osvit IR světlem

Existují kamery přejímající výhody obou řešení tzv. den/noc (day/night) kamery. Tyto kamery za dobrých světelných podmínek pracují v barevném režimu, tudíž je v objektivu před snímačem zařazen IR filtr. Při snížení intenzity světla se automaticky přepnou do černobílého snímání popř. se zapne IR přísvit. V tu chvíli se filtr automaticky odsune. [2]

2.3 Přisvětlování kamer

Toto je důležitá složka mobilního robota pracujícího i za zhoršených světelných podmínek, jelikož kamerová technika velice rychle ztrácí v těchto podmínkách svůj standardně kvalitní obraz. Dosah osvětlení se řádově pohybuje v jednotkách až desítkách metrů podle instalovaného výkonu osvětlení. Velice důležitou vlastností u mobilního robota je jednoznačně světelná účinnost udávaná v lumenech na watt [lm/W].

Zdroje viditelného světla

Základní rozdělení je podle prostředí vzniku záření.

V pevných látkách

- Inkandescenční (teplotní)
 - vakuové – žárovky,
 - plněné vzácnými plyny- nejčastěji halogenové.
- Luminiscenční
 - LED diody- vynikají svojí účinností a odolností vůči rázům.

V plynech a parách kovů

- Výbojové – zářivky - mají dobrou účinnost, ovšem jsou náchylné k mechanickému poškození při rázech. [6]

Zdroje infračerveného světla

Infračervené záření má větší vlnovou délku, než jakou je lidské oko schopno zachytit. IR reflektory se proto používají k nenápadnému přisvětlení pozorované scény. IR světlo má za standardních podmínek větší dosvit.

Z hlediska provedení se zdroje IR světla dělí na:

- Halogenové lampy při použití IR filtru, jež propustí pouze IR spektrum světla. Výhoda tohoto řešení spočívá v dlouhé životnosti, stále intenzitě vyzařovaného světla a snadné

výměně halogenové žárovky. Nevýhodami jsou vysoká cena a velký odběr proudu, díky čemuž je toto řešení nevhodné pro napájení společně s robotem z baterie.

- LED pole z vysoce svítivých LED diod s předřazeným IR filtrem. Výhody tohoto řešení jsou rovnoměrnější osvětlení sledovaného prostoru, velký dosvit a nízká spotřeba elektrické energie. Ovšem cena tohoto systému je poměrně vysoká.
- IR LED pole tvořené infračervenými LED diodami emitujícími infračervené spektrum světla. Výhody IR LED reflektorů jsou zejména nízká cena, stejnoměrné osvětlení scény, velký dosvit a nízká spotřeba elektrické energie. Nevýhodou je nižší trvanlivost IR LED diod (běžně 8000 hodin), resp. postupné snižování intenzity záření. [3]

2.4 Zapojení kamery

Jako nejjednodušší řešení se jeví použití IP kamery. Tato kamera má v sobě zabudovaný webový server. Připojení do sítě je tedy velice jednoduché, postup je obdobný jako u kteréhokoliv jiného počítače. IP kamera má svoji IP adresu, na kterou se můžeme jednoduše připojit a sledovat záznam z kamery. [7]

2.5 Přenos video signálu od robota k operátorovi

Přenos je možné realizovat vícero způsoby. Po vodiči, optickém kabelu nebo bezdrátově. První dva způsoby jsou vhodné spíše pro stacionární kamery. Robot spojený se stanovištěm operátora pomocí kabelu, je z důvodu napájení či z důvodu problematického přenosu bezdrátového signálu.

Pro komunikaci mezi robotem a operátorem je bezpodmínečně nutné použít bezdrátového přenosu signálu.

Bezdrátový přenos se realizuje na určitých frekvencích. Pro wifi je vyhrazena frekvence 2,4 GHz a 5 GHz. Tyto frekvence dále poskytují různé kanály, což jsou vlastně jemněji přiřazené frekvence. Problémem je, že při vedlejších kanálech dochází k rušení signálů.

2.6 Rotační pohony

Pohon zde bude použit např. pro polohování s kamerou či ramenem kamery. Tento pohon je nezbytné polohově řídit.

Stejnoseměrný motor

Je často používaným typem pohonu u mobilních robotů. Především díky příznivému poměru výkon/hmotnost, relativně snadnému řízení otáček a u běžných typů také cena. Mezi nevýhody patří složitější a tedy dražší rychlostní a zejména polohové řízení v porovnání s krokovým motorem. Dále je tento pohon díky komutátoru zdrojem elektromagnetického rušení. [4]

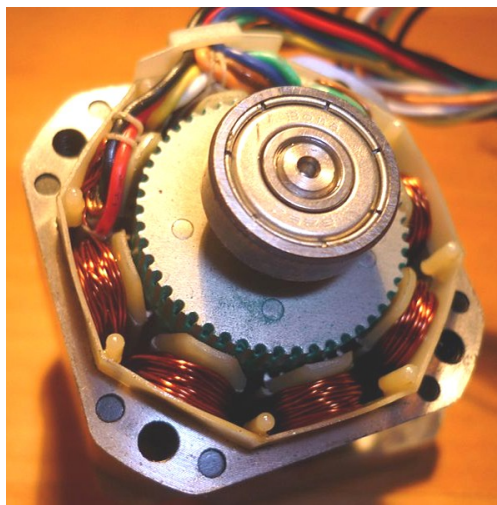


Obrázek 2.7 - Stejnoseměrný motor s převodovkou

Krokový motor

Tento motor umí přesně nastavit svoji polohu a tuto polohu i přes působící síly udržet. V robotice používáme krokové motory z důvodu jejich snadné obsluhy. Pro precizní řízení rychlosti nepotřebujeme naprogramovat komplexní PID kontrolér, a pokud motory nepřetěžujeme, lze se obejít bez zpětné vazby o změně natočení – stačí počítat kroky.

Nevýhodou tohoto pohonu je neustálý odběr proudu, i když se motor netočí. Dále pak nepříliš příznivý poměr výkon/hmotnost a trochu vyšší cena v porovnání s DC motory. [5]



Obrázek 2.8 - Řez krokovým motorem

Servo pohon

Servo obsahuje stejnosměrný motorek, převodovku a s výstupní hřídelí spřažený miniaturní potenciometr použitý jako senzor úhlu natočení pro regulační obvod polohy. U menších a levnějších serv je potenciometr připojen přímo na výstupní hřídel, u serv vyšších kategorií je připojen přes zvláštní převod (tzv. nepřímý náhon), který velmi účinně chrání před přenosem vibrací. Úhel natočení je u většiny servomotorů $\pm 90^\circ$. Poloha výstupní hřídele je mimo tento rozsah mechanicky aretována na převodovce. Po drobné mechanické a elektronické úpravě je možné servo použít jako obousměrný motor bez omezení úhlu natočení. [4]

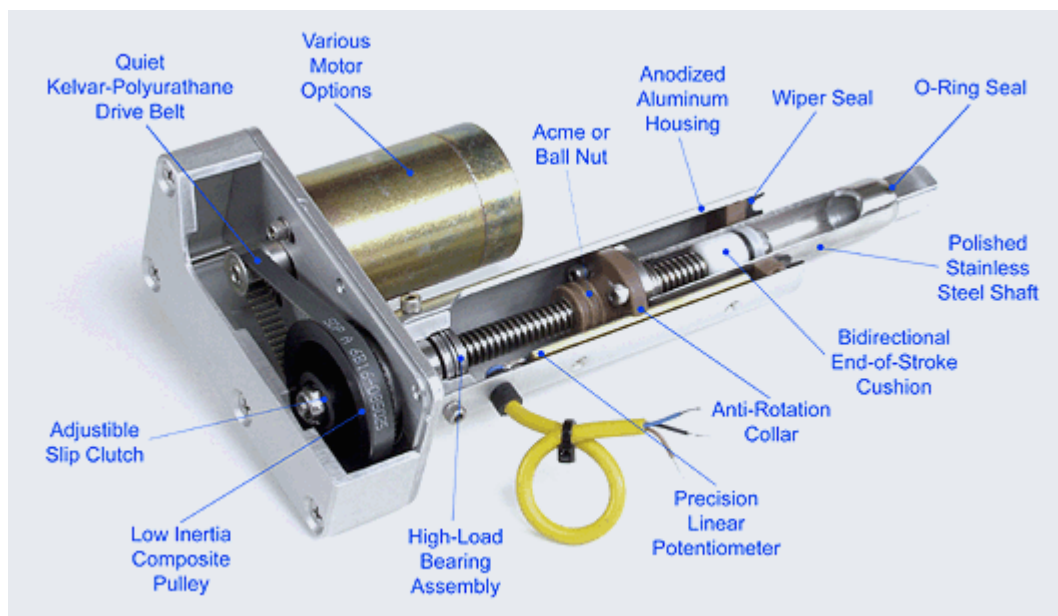


Obrázek 2.9 - Řez servopohonem

2.7 Lineární pohony a jednotky

Lineární aktuátor s pohybovým šroubem

Lineární pohyb je zprostředkován pohybovým šroubem. Na trhu jsou varianty s trapézovým, kuličkovým a dokonce i válečkovým šroubem. Poloha je určena snímačem polohy nebo pouze koncovým spínačem. Každá varianta má své opodstatnění v různých aplikacích. Komerční aktuátory se skládají z motoru, reduktoru otáček a pohybového šroubu s maticí. Tato koncepce vyniká především vysokou tuhostí a nosností.



Obrázek 2.10 - Lineární aktuátor s pohybovým šroubem

Lineární jednotka s ozubeným řemenem

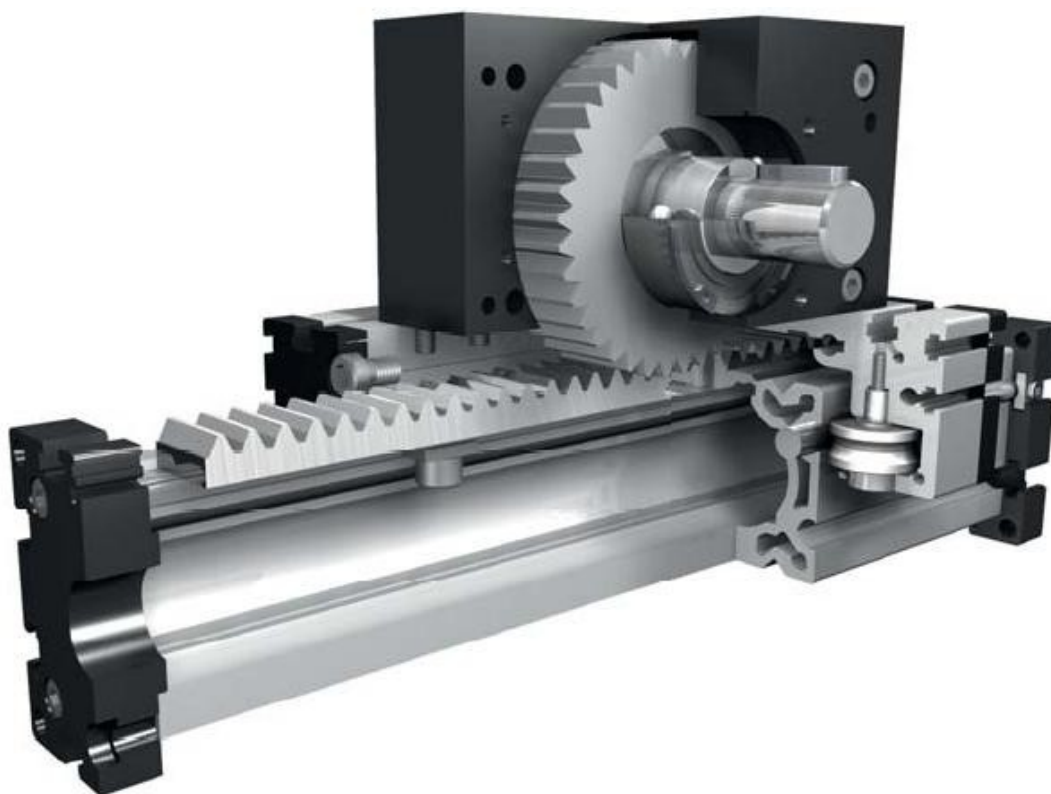
Tato koncepce se ve většině případů skládá z pevného rámu a saní. Pevný rám je upraven tak, aby mohl sloužit jako vedení pro pojízdné saně. Saně jsou poháněny ozubeným řemenem. Řemen vykonává pouze pohyb v takovém rozsahu, který odpovídá délce posuvu. Tento pohon je vhodný pro nízké až střední zátěže při potřebách velkých zrychlení. [10]



Obrázek 2.11 - Lineární jednotka s ozubeným řemenem

Lineární jednotka s ozubeným hřebenem

Polohovací systémy s hřebenem, pracují podobným způsobem jako lineární jednotky s ozubeným řemenem, s tím rozdílem že funkci řemenu vykonává ozubený hřeben. Systém je vhodný pro extrémně velká zatížení. [12]



Obrázek 2.12 - Lineární jednotka s ozubeným hřebenem

Polohovací systém s lineárním motorem

„Lineární motor si můžeme představit jako klasický rotační motor rozvinutý do roviny, který umožňuje přímočarý pohyb bez zprostředkujícího převodu. Lineární motor se často využívá u moderních přesných obráběcích strojů a tam, kde je kladen důraz na vysokou dynamiku pohybu. Tyto motory umožňují zrychlení až 5G a rychlost posuvu 6m/s“. Cena tohoto pohonu je pro aplikaci ve školní robotice naprosto neúměrná. [13]



Obrázek 2.13 - Lineární jednotka s lineárním motorem

3 Požadavkový list

- Kamerový subsystém musí splňovat podmínky pro venkovní provoz, což znamená do jisté míry snášet nepříznivé povětrnostní podmínky (síla větru a případný déšť),
- zobrazovaný prostor musí obsáhnout prostor před i za robotem a pohled shora,
- pro hlavní kameru je doporučeno použít zakoupenou kameru,
- sloup pro hlavní kameru musí být sklopný z důvodu transportu, kamera musí být schopna vertikální a horizontální rotace,
- je kladen důraz na co nejnižší energetické nároky a hmotnost,
- při návrhu je nutné snažit se o co nejnižší výrobní náklady a jednoduchost konstrukce,
- přenos signálu k operátorovi je nutné řešit bezdrátově.

4 Varianty řešení

Varianty řešení jsou navrženy tak, aby reflektovaly požadavky a zároveň zde byly použity odlišné koncepce. Odlišnosti koncepcí spočívají především v uspořádání jednotlivých kloubů.

4.1 Varianta č. 1

V této variantě se dosahuje maximální délky ramena při napřímění v kloubu č. 3. V takovéto poloze je délka ramene asi 1 m.

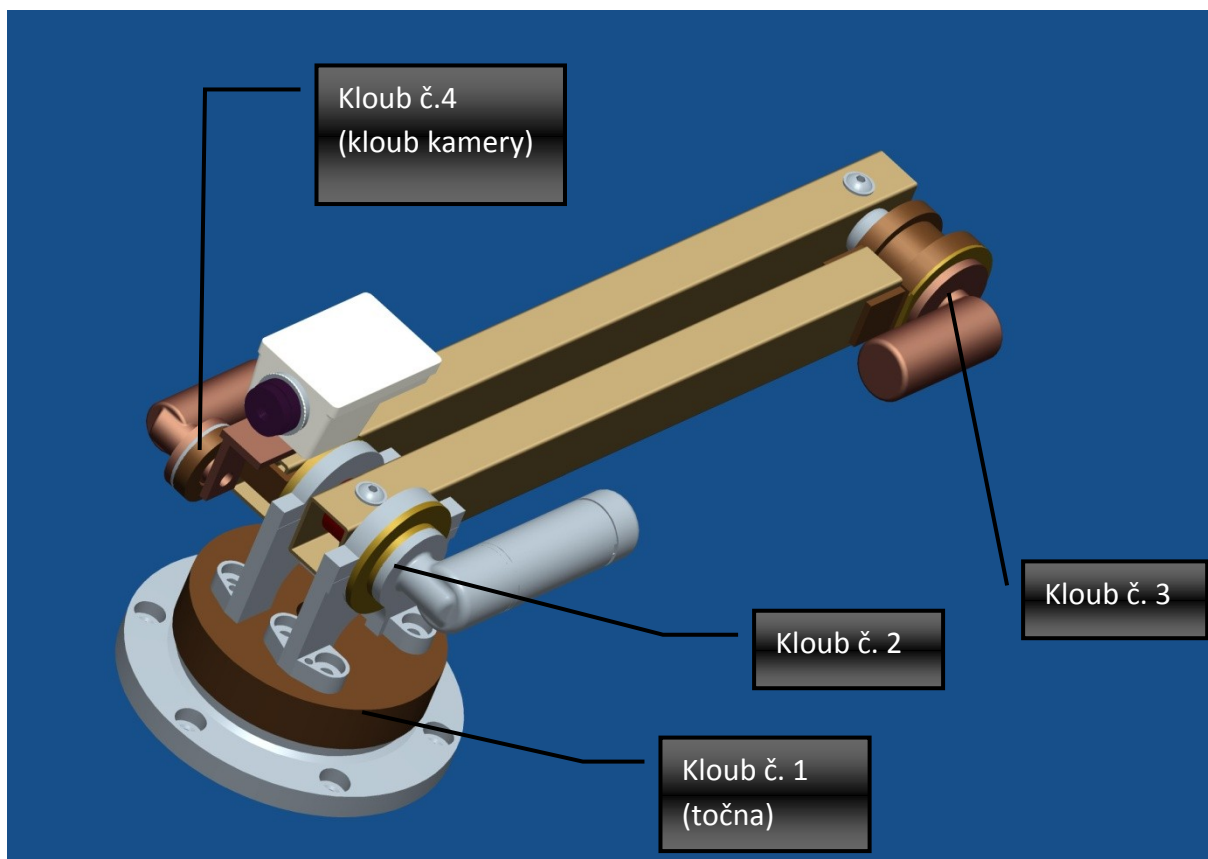
Jsou zde celkem čtyři rotační osy. První rotace kolem svislé osy je zvolena v základně, což přináší výhodu v lehce lepších pozorovacích možnostech a také je výhodnější umístit co největší množství hmoty co nejbližší počátku mechanismu.

Výhody:

- úspora jednoho stupně volnosti,
- jednoduchá konstrukce, snadná montáž,
- nízká pořizovací cena,
- maximální využití šířky robota pro složené rameno,
- je možné pracovat s ramenem i v jiné než napříměné poloze.

Nevýhody:

- nutnost vyrábět značnou část dílů,
- větší moment setrvačnosti v ose kloubu č. 2 (kvůli hmotnosti kloubu č. 3).



Obrázek 4.1 - Detail samostatného ramene

4.2 Varianta č. 2

U této varianty dochází k teleskopickému vysunutí ramene, čímž se docílí maximální možné výšky polohy kamery, asi 0,85 m.

Vnější část teleskopického ramene je složena z U-profilu a bočnice, díky čemuž je možné přesně opracovat vnitřní plochy.

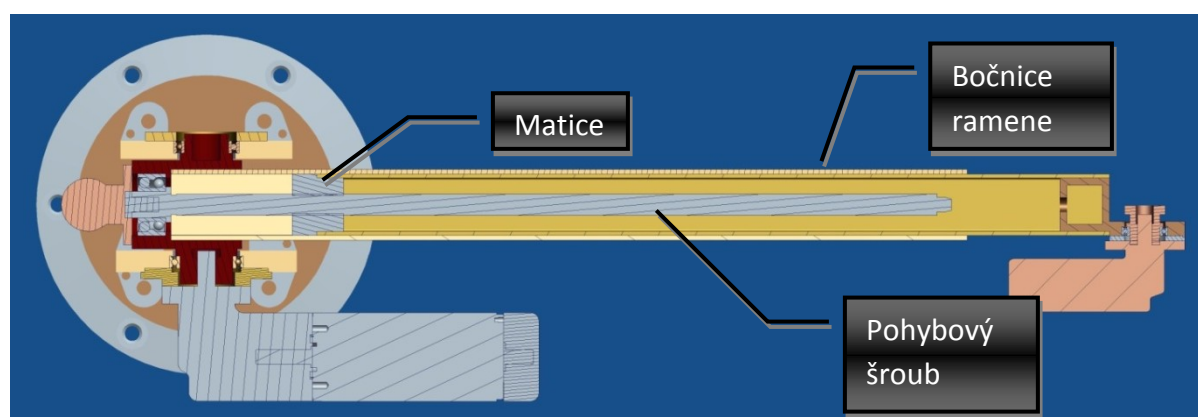
V dalších konstrukčních uzlech je koncepce shodná s předešlou variantou.

Výhody:

- teleskopické rameno ušetří místo ve směru do šířky,
- tato koncepce je jednodušší na ovládání,
- pohon pohybového šroubu slouží také jako protiváha na druhém kloubu.

Nevýhody:

- nemožnost dostat se s kamerou blíže „před“ robota.



Obrázek 4.2 - Rameno v řezu- povysunutá poloha

4.3 Varianta č. 3

Tato varianta vznikla de facto složením předešlých dvou variant. Je zde možnost dosažení výšky skoro 1,5 m.

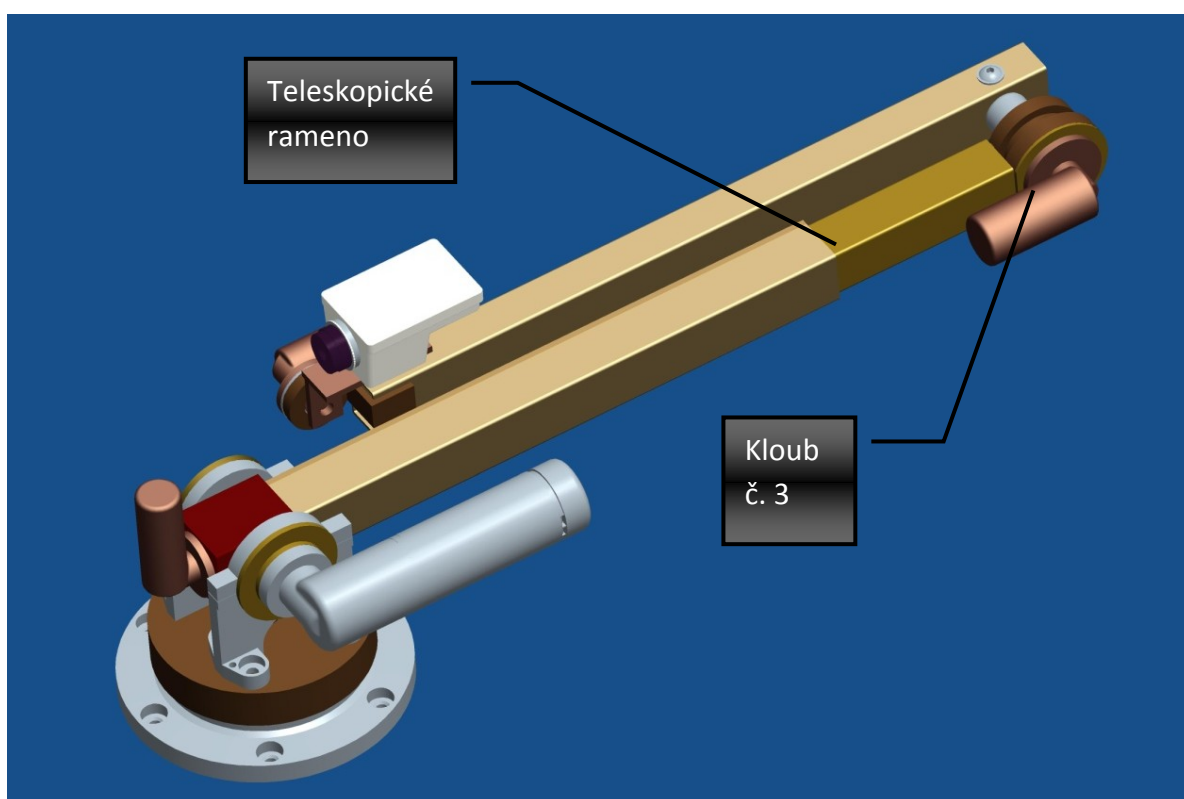
V řetězci je jako první zařazeno teleskopické rameno a až po té kloub s dalším ramenem. Je to z důvodu lepšího využití polohování (nejprve je možné dostat se dost vysoko nad případnou nadstavbu robota a poté až zlomit rameno v kloubu pro dosažení polohy více „dopředu“). Jako druhou výhodu lze považovat působení menšího zatížení na kloub č. 3.

Výhody:

- dobrá polohovatelnost,
- dosažení velké maximální výšky.

Nevýhody:

- tato varianta obsahuje velké množství vyráběných dílů.



Obrázek 4.3 - Pohled na 3. variantu

4.4 Varianta č. 4

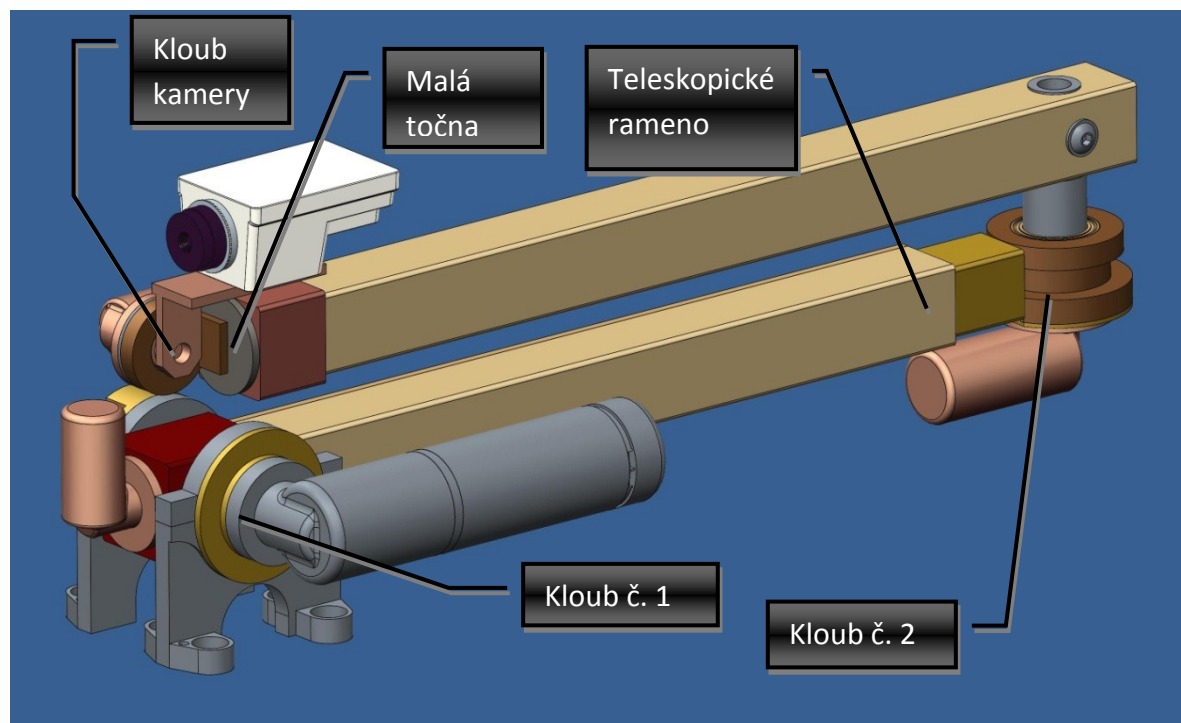
V této variantě již není točna umístěna ihned v základu, přičemž její funkci plní malá točna na konci řetězce, čímž se odstraní výrobně nejsložitější funkční celek - točna. Tato varianta sice nabídne horší pozorovací možnosti, jelikož ji není možné tak variabilně polohovat, ale i přes to plně vyhovuje požadavkům na kamerový subsystém. Nejdříve umístěná malá točna a teprve poté umístěný kloub kamery, je z důvodu možnosti zabírat obraz kolem do kola celého robota.

Výhody:

- ušetření hmotnosti, kterou představovala točna v základu,
- značné zjednodušení konstrukce,
- veliké ušetření zástavbového prostoru.

Nevýhody:

- pozorovací možnosti jsou menší než u varianty č. 3.



Obrázek 4.4 - Pohled na rameno

5 Hodnotová analýza

Účelem hodnotové analýzy je určit nejvhodnější variantu z výše navržených. V kritériích hodnotové analýzy se odrážejí požadavky z požadavkového listu. Díky tomu bude vítězná varianta ideálním kompromisem zadaných požadavků.

Volba kritérií

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Maximální výška pozorování	Maximální výška, do které je možné nastavit rameno
K2	Hmotnost	Snaha o minimalizaci hmotnosti
K3	Pozorovací možnosti	Variabilita poloh ramene, při kterých je možné pozorování
K4	Jednoduchost konstrukce	Výrobní a montážní náročnost konstrukce

Tabulka 5.1 - Navržená kritéria

Stupnice bodování

Hodnoty kritérií	Bodové hodnocení
Vysoká úroveň	5
Dobrá úroveň	4
Průměrná úroveň	3
Nízká úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tabulka 5.2 - Stupnice bodování

Obodování variant na základě určených kritérií:

Kritérium		Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3	Varianta č. 4
K1	Maximální výška pozorování	2	2	4	4
K2	Hmotnost	3	3	2	4
K3	Pozorovací možnosti	4	2	5	4
K4	Jednoduchost konstrukce	3	3	2	4

Tabulka 5.3 - Obodování variant

Váha významnosti „q“ je určena lineární závislostí podle vzorce:

$$q = 0,25 \cdot v + 0,75 \quad (\text{převzato z [9]}) \quad [5.1]$$

Významnost jednotlivých kritérií byla určena na základě metody porovnávání párů.

Tabulka porovnávání párů

Přiřazení významnosti jednotlivých kritérií bylo provedeno metodou porovnávání v trojúhelníku párů.

Porovnávané páry kritérií			Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
K1	K1	K1	3	1.	1,5
K2	K3	K4			
	K2	K2	0	4.	0,75
	K3	K4			
		K3	1	3.	1
		K4	2	2.	1,25

Tabulka 5.4 - Porovnávání kritérií v trojúhelníku párů

Zhodnocení navržených variant

Varianta č. 1

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	2	1,5	3
K2	3	0,75	2,25
K3	4	1	4
K4	3	1,25	3,75
Suma vážených indexů			13

Tabulka 5.5 - Ohodnocení varianty č. 1

Varianta č. 2

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	2	1,5	3
K2	3	0,75	2,25
K3	2	1	2
K4	3	1,25	3,75
Suma vážených indexů			11

Tabulka 5.6 - Ohodnocení varianty č. 2

Varianta č. 3

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	4	1,5	6
K2	2	0,75	1,5
K3	5	1	5
K4	2	1,25	2,5
Suma vážených indexů			15

Tabulka 5.7 - Ohodnocení varianty č. 3

Varianta č. 4

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	4	1,5	6
K2	4	0,75	3
K3	4	1	4
K4	4	1,25	5
Suma vážených indexů			18

Tabulka 5.8 - Ohodnocení varianty č. 4

Tabulka výsledků

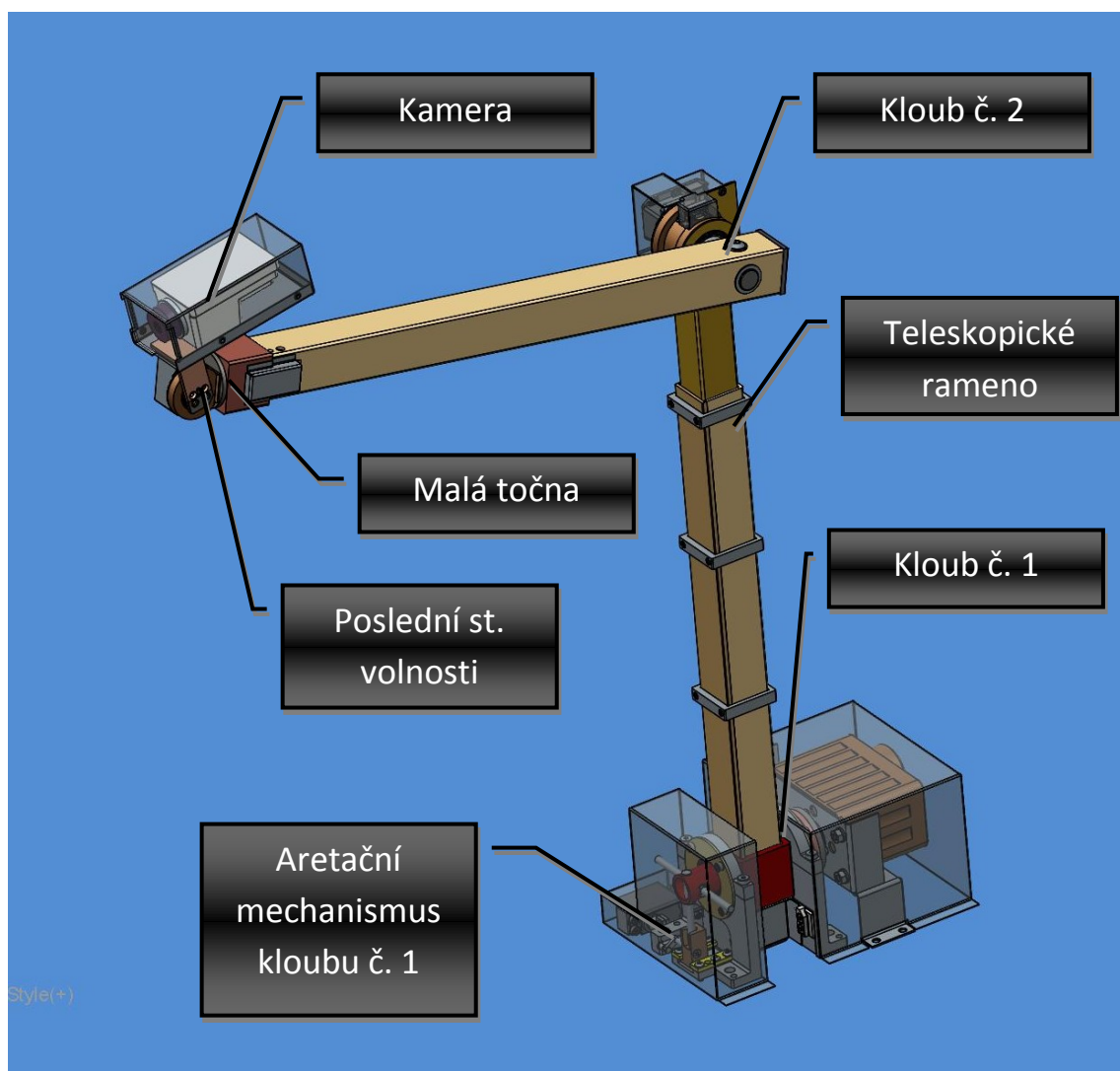
Varianta	Suma vážených indexů
Varianta č. 1	13
Varianta č. 2	11
Varianta č. 3	15
Varianta č. 4	18

Tabulka 5.9 - Přehled výsledků

Nejvhodnější variantou z výše uvedených je na základě hodnotové analýzy varianta č. 4.

6 Konstrukční návrh kamerového subsystému

Vybraná varianta kamerového subsystému má na začátku kinematického řetězce umístěný kloub s vodorovnou osou rotace, přičemž rozsah rotace je 180° . Následuje teleskopické rameno s možností výsunu cca 400 mm. Dále je umístěn rotační kloub s rozsahem 300° , na němž je umístěno rameno o délce asi 500 mm. Na konci ramene jsou umístěny poslední dva stupně volnosti, které mají za účel orientovat kameru do požadovaného směru.

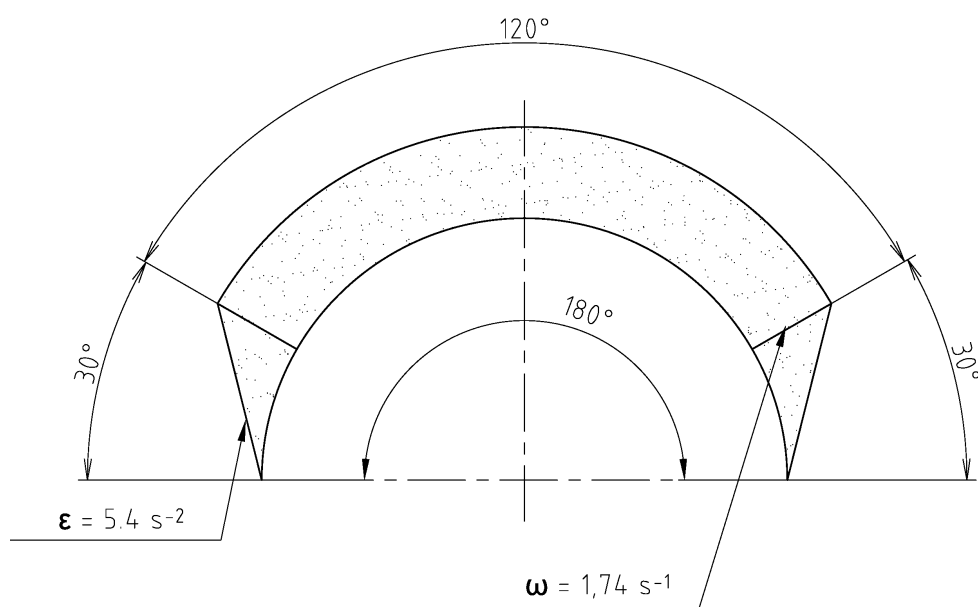


Obrázek 6.1 - Optimální varianta

6.1 Návrh pohonu pro kloub č. 1

Pro výpočet je nutné sestavit lichoběžníkovou funkci, ze které se určí požadované zrychlení. Tato funkce nastíní průběh pohybu ramene.

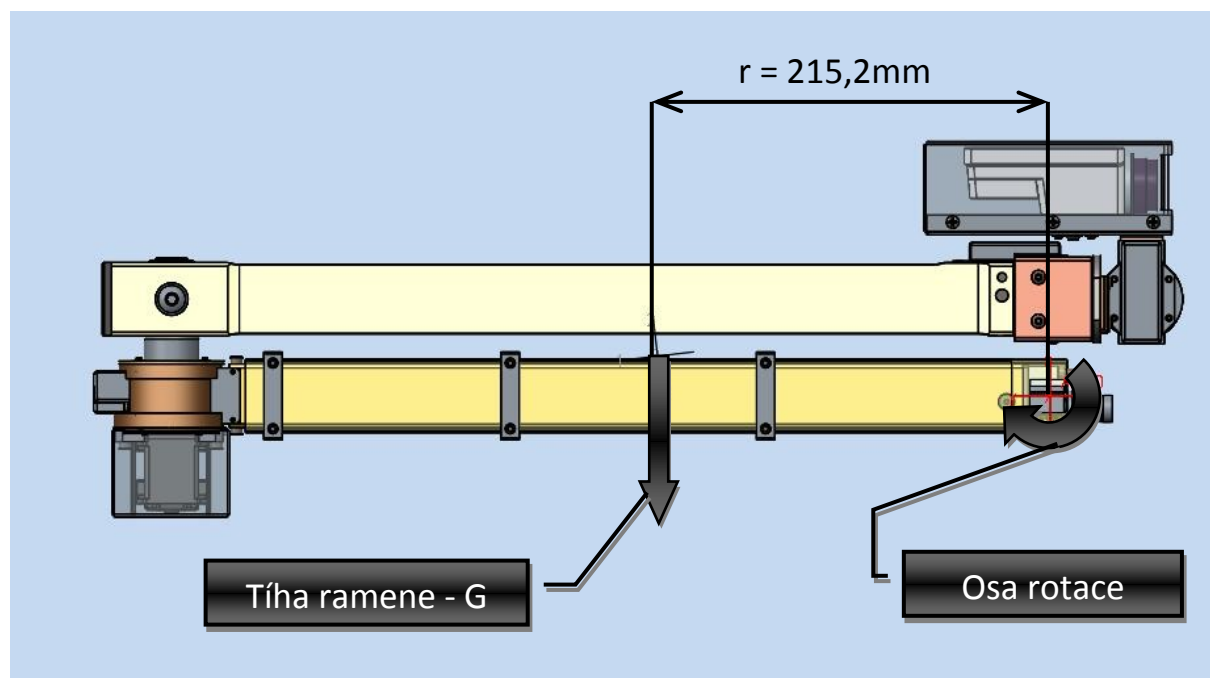
Zrychlení na maximální rychlost proběhne na 30° . Velikosti zrychlování a zpomalování jsou stejné. Jedná se o rotaci, proto je zde funkce znázorněna radiálně.



Obrázek 6.2 - Lichoběžníková funkce pro první kloub

Požadovaný čas na přesun o 180° (při pracovní rychlosti)	$180^\circ \equiv 10s$	[6.1]
Obvodová rychlost	$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{\pi}{10} = 0,314s^{-1}$	[6.2]
Obvodové zrychlení	$\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega^2}{\varphi} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,314^2}{0,52} = 0,0948s^{-2}$	[6.3]
Převod stupňů na radiány	$30^\circ \cdot \frac{\pi}{180} = 0,52rad$	[6.4]
Převod radiánů na stupně	$0,0948rad \cdot s^{-2} = 5,43^\circ \cdot s^{-2}$	[6.5]

Základní výpočet potřebného momentu je proveden ve složené poloze, kdy je k zapotřebí nejmenší moment, ale i za tohoto předpokladu by byl systém funkční.



Obrázek 6.3 - Dispozice pro výpočet pohonu v kloubu č. 1 - složená poloha

Geometrické a hmotnostní parametry jsou odečteny z CAD systému Creo.

Hmotnost ramene	$m = 2,753kg$	[6.6]
-----------------	---------------	-------

Vzdálenost těžiště od osy rotace	$r = 215,2mm$	[6.7]
----------------------------------	---------------	-------

Moment setrvačnosti k ose rotace	$I = 0,2414kg \cdot m^2$	[6.8]
----------------------------------	--------------------------	-------

Úhlové zrychlení (odpovídá změně polohy o 90° za 5s)	$\varepsilon = 0,0948rad \cdot s^{-2} = 5,432deg \cdot s^{-2}$	[6.9]
---	--	-------

Tíha ramene	$G = m \cdot g = 2,753 \cdot 9,81 = 26,998N$	[6.10]
-------------	--	--------

Potřebný kroutící moment	$M = G \cdot r + \varepsilon \cdot I = 26,998 \cdot 0,2152 + 0,0948 \cdot 0,2414$	[6.11]
--------------------------	---	--------

Výsledek dynamické analýzy ze sys. Creo	$M = 5,833N \cdot m$	[6.13]
---	----------------------	--------

[6.12]

$$M_{CR} = 5,79N \cdot m$$

Výpočtem byl zjištěn potřebný moment $M = 5,83\text{Nm}$, který je téměř shodný s výsledkem dynamické analýzy z CAD systému Creo.

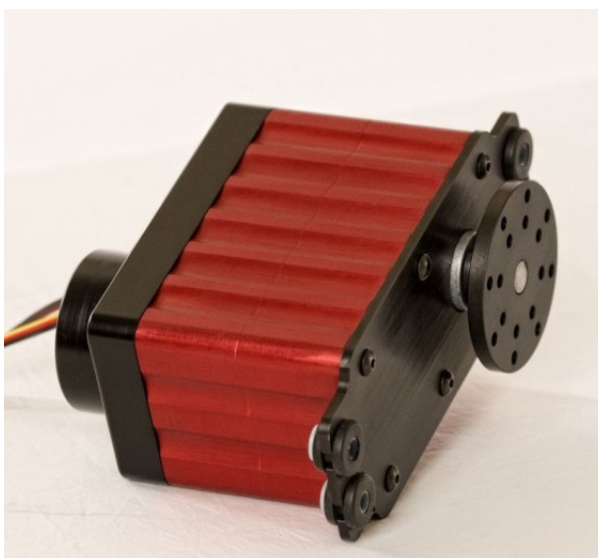
Na základě tohoto výpočtu jako pohon volím servo **Torxis i00600**.

Parametr	Hodnota
Kontinuální moment	11,3 Nm
Špičkový moment	22,6 Nm
Rychlost otáčení	90° / 1,5s
Napájení	12V DC
Hmotnost	1,07 kg
Cena	290 USD \approx 5500 Kč

Tabulka 6.1 - Parametry serva Torxis I 00600

zdroj:[16]

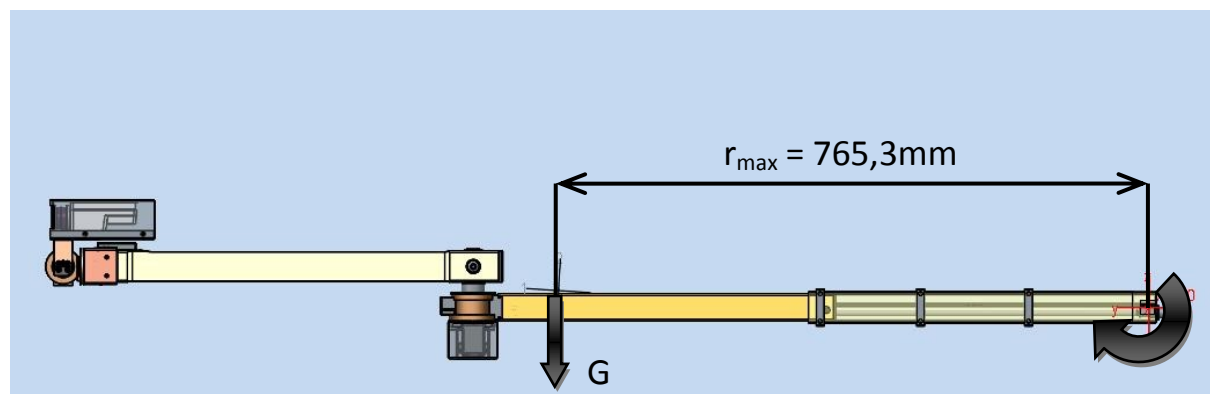
Tento pohon má celohliníkové tělo a všechny převody jsou kovové. Výstupní hřídel je na dvou kuličkových ložiscích. Řízení je za pomoci PWM signálu. [16]



Obrázek 6.4 - Servo Torxis I 00600

Výpočet potřebného momentu při maximálně rozložené konfiguraci

Tato poloha představuje největší zatížení na pohon č. 1. Nepředpokládá se, že by se tato situace v běžném provozu vyskytovala často.



Obrázek 6.5 - Dispozice pro výpočet pohonu v kloubu č. 1 - maximálně rozložená konfigurace

Hmotnost ramene	$m = 2,753kg$	[6.14]
-----------------	---------------	--------

Těžiště od osy rotace	$r_{\max} = 765,3mm$	[6.15]
-----------------------	----------------------	--------

Moment setrvačnosti k ose rotace	$I_{\max} = 2,188kg \cdot m^2$	[6.16]
----------------------------------	--------------------------------	--------

Úhlové zrychlení	$\varepsilon = 0,0948rad \cdot s^{-2} = 5,432deg \cdot s^{-2}$	[6.17]
------------------	--	--------

Tíha ramene	$G = m \cdot g = 2,753 \cdot 9,81 = 26,998N$	[6.18]
-------------	--	--------

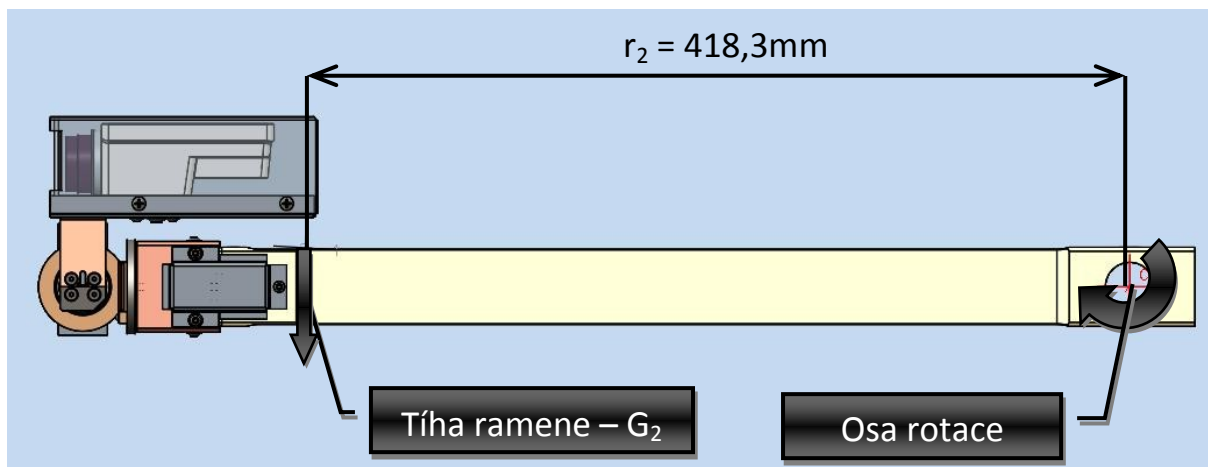
Potřebný krouticí moment	$M_{\max} = G \cdot r_{\max} + \varepsilon \cdot I_{\max} = 26,998 \cdot 0,7653 + 0,0948 \cdot 2,188$	[6.19]
	$M_{\max} = 20,869N \cdot m$	[6.20]

Výsledek dynamické analýzy z Creo	$M_{CR\max} = 20,81N \cdot m$	[6.21]
-----------------------------------	-------------------------------	--------

Snahou bylo snížit potřebný moment pod 22,6 Nm, čímž je docíleno možnosti zvedání ramene z nejnáročnější polohy. Takového potřebného momentu bylo docíleno díky použití hliníkových profilů, které jsou následně vhodně odlehčeny. Vypočtený maximální moment 20,87 Nm zahrnuje určitou rezervu. Je nutné uvést, že takovýto moment je pohon schopný podávat pouze špičkově, tudíž není možné, aby maximální polohu rozložení ramene držel po delší dobu.

6.2 Návrh pohonu pro kloub č. 2

Návrh pohonu tohoto ramene je proveden pro rozběh z vodorovné polohy.



Obrázek 6.6 - Dispozice pro výpočet pohonu v kloubu č. 2

Hmotnost ramene	$m_2 = 0,898kg$	[6.22]
-----------------	-----------------	--------

Těžiště od osy rotace	$r_2 = 418,3mm$	[6.23]
-----------------------	-----------------	--------

Moment setrvačnosti k ose rotace	$I_2 = 0,1794kg \cdot m^2$	[6.24]
----------------------------------	----------------------------	--------

Úhlové zrychlení	$\varepsilon_2 = 0,1746rad \cdot s^{-2} = 10deg \cdot s^{-2}$	[6.25]
------------------	---	--------

Tíha ramene	$G_2 = m_2 \cdot g = 0,898 \cdot 9,81 = 8,806N$	[6.26]
-------------	---	--------

Potřebný krouticí moment	$M_2 = G_2 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot I_2 = 8,806 \cdot 0,4183 + 0,1746 \cdot 0,1794$	[6.27]
--------------------------	--	--------

	$M_2 = 3,715N \cdot m$	[6.28]
--	------------------------	--------

Výsledek dynamické analýzy z Creo	$M_{CR2} = 3,71N \cdot m$	[6.29]
-----------------------------------	---------------------------	--------

Ve výsledku se velice projevilo odlehčení ramene, které je z normalizovaného hliníkového profilu. Odlehčení je provedeno zfrézováním stěny ramene na 1 mm tloušťky. Odlehčení je provedeno v místech, kde není z funkčního hlediska zapotřebí plná síla stěny.

Na základě návrhu pohonu, kdy byl vypočtený potřebný moment **3,75 Nm**, jsem zvolil servo **Dynamixel Rx-64**.

Parametr	Hodnota
Kontinuální moment	6,28 Nm
Rychlost otáčení	60° / 0,162 sec
Napájení	18V DC
Hmotnost	0,125 kg
Cena	280 USD \approx 5300 Kč

Tabulka 6.2 - Parametry serva Dynamixel Rx-64

Zdroj: [17]

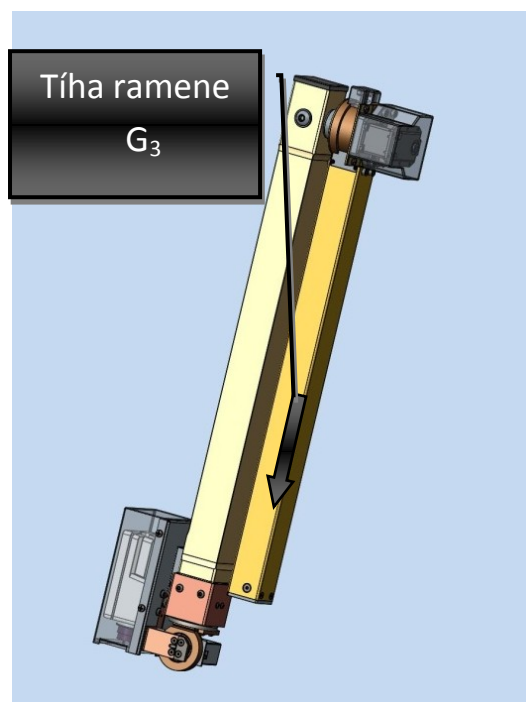
Zvolený pohon kloubu č. 2 Dynamixel Rx-64 má vynikající poměr kroutícího momentu ku hmotnosti, což z něho dělá ideální pohon pro umístění v sériovém kinematickém řetězci. Tělo je vyrobeno z vysoce kvalitního průmyslového plastu. Převody jsou kovové. [17]



Obrázek 6.7 - Servo Dynamixel Rx-64

6.3 Výpočet pohonu pohybového šroubu

Výpočet je proveden ve svislé poloze, kdy působí na pohon pohybového šroubu největší zatížení. Ve výpočtu je započteno také přetlačení vratné pružiny u lankového aretačního mechanismu.



Obrázek 6.8 - Dispozice pro výpočet pohonu pohybového šroubu

Hodnoty lichoběžníkového závitu jsou převzaty ze strojnických tabulek. [15]

Velký průměr závitu	$d = 8mm$	[6.30]
---------------------	-----------	--------

Střední průměr závitu	$d_2 = 7,25mm$	[6.31]
-----------------------	----------------	--------

Malý průměr závitu	$d_3 = 6,2mm$	[6.32]
--------------------	---------------	--------

Stoupání závitu	$P = 1,5mm$	[6.33]
-----------------	-------------	--------

Úhel profilu závitu	$\alpha = 30^\circ$	[6.34]
---------------------	---------------------	--------

Součinitel smykového tření (nemazáno, ocel-ocel)	$f_z = 0,2$	[6.35]
---	-------------	--------

Úhel stoupání	$\psi = a \tan\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) = a \tan\left(\frac{1,5}{3,15 \cdot 7,25}\right) = 3,768^\circ$	[6.36]
---------------	--	--------

Redukovaný třecí úhel	$\phi' = a \tan\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) = a \tan\left(\frac{0,2z}{\cos\left(\frac{30}{2}\right)}\right) = 11,698^\circ$	[6.37]
-----------------------	---	--------

Podmínka samosvornosti	$\psi \leq \phi'$	pohybový šroub je samosvorný
------------------------	-------------------	------------------------------

Hmotnost zvedaná pohyb. šroubem	$m_3 = 1,941 \text{ kg}$	[6.38]
Tíha od zvedané hmotnosti	$G_3 = m_3 \cdot g = 1,941 \cdot 9,81 = 19,035 \text{ N}$	[6.39]
Zrychlení	$a_3 = 60 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$	[6.40]
Síla potřebná pro zrychlení	$F_a = m_3 \cdot a_3 = 1,941 \cdot 0,06 = 0,116 \text{ N}$	[6.41]
Síla pro přetlačení vratné pružiny	$F_8 = 30 \text{ N}$	[6.42]
Zátěžná síla v ose šroubu	$F_O = G_3 + F_a + F_8 = 19,035 + 0,116 + 30 = 49,15 \text{ N}$	[6.43]
Třecí moment v závitu Pro pohon pohybového šroubu	$M_{\tau} = F_O \cdot \tan(\psi + \phi') \cdot \frac{d_2}{2} = 49,15 \cdot \tan(3,768 + 11,698) \cdot \frac{7,25}{2} = 0,449 \text{ N} \cdot \text{m}$	[6.44]

jsem zvolil miniservo značky **Hitec Hs-225MG**, jež je schopné poskytnout moment 0,47 Nm. Servo je možné upravit na kontinuální otáčení, což je požadavkem pro pohon pohybového šroubu. Americký e-shop Servocity nabízí servo s touto úpravou za poplatek 20 \$. [18]

Parametr	Hodnota
Kontinuální moment	0,47 Nm
Rychlost otáčení	60° / 0,11 sec
Napájení	6V DC
Hmotnost	0,031 kg
Cena	26 USD ≈ 490 Kč

Tabulka 6.3 - Parametry serva Hitec Hs-225MG

Zdroj: [18]

Zvolené servo Hitec HS-225MG je standardní miniservo s kovovými převody, což zajistí dostatečnou výdrž při kontinuálním otáčení. [18]



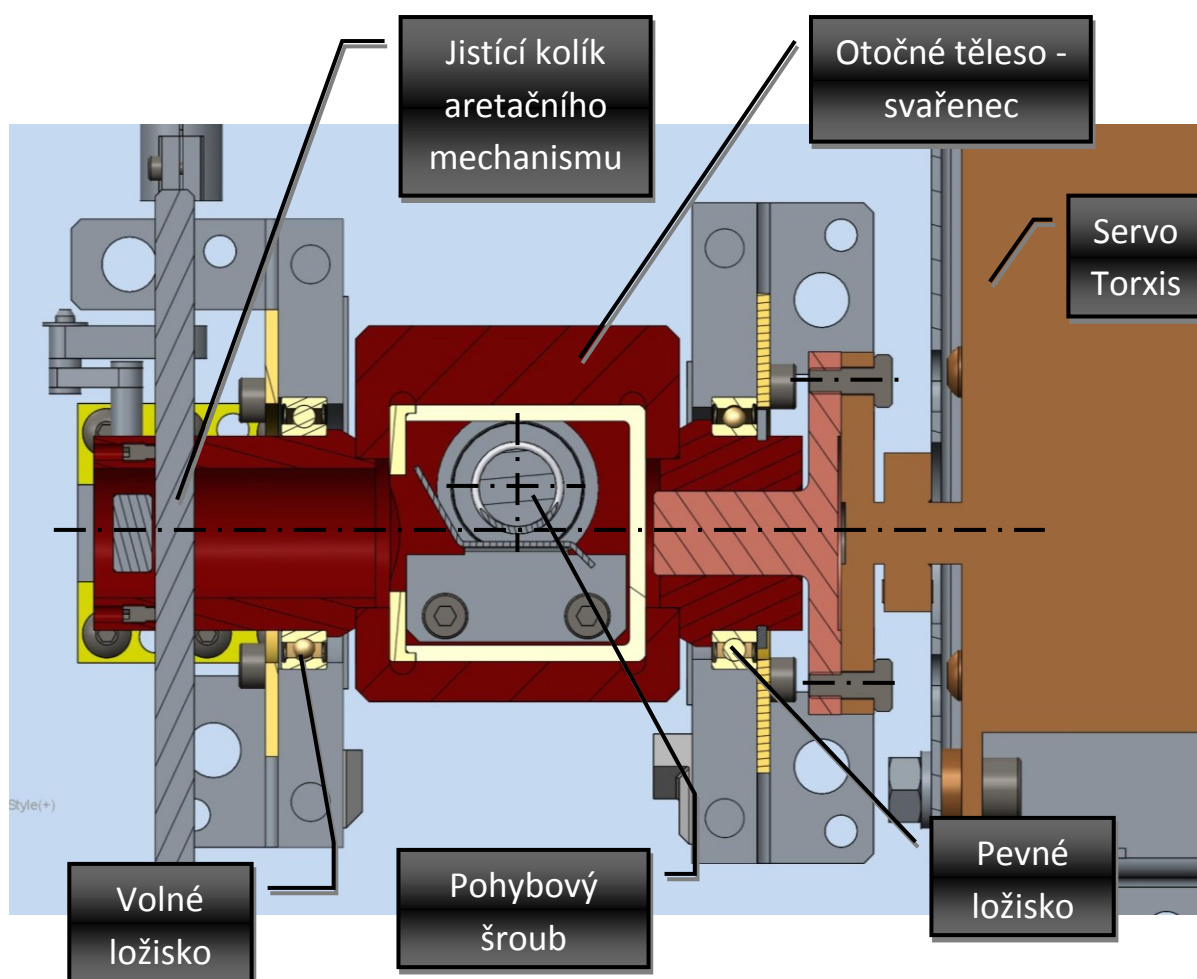
Obrázek 6.9 - Servo Hitec HS-225MG

6.4 Konstrukční řešení kloubu č. 1

Prvním stupněm volnosti subsystému je rotační kloub s vodorovnou osou rotace. Otočné těleso je usazeno ve dvou jednořadých kuličkových ložiscích, které jsou uloženy v dělených ložiskových domcích. Dělené domky zajistí snadnou montáž a případnou demontáž subsystému.

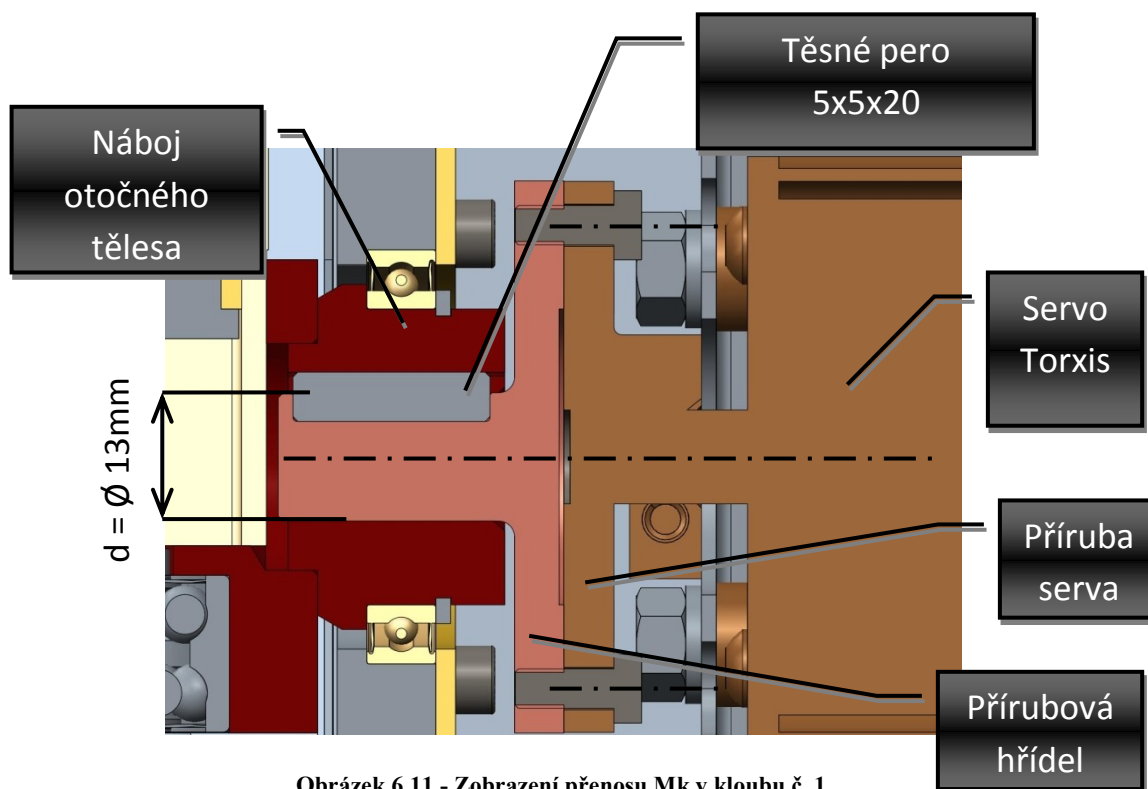
Otočné těleso je svařenec ze tří dílů, přičemž přesné rozměry se musí obrobit až po svaření. Je velice důležité zajistit souosost hřídelových částí pro ložiska.

Pro zajištění pozorovací polohy je zde použit aretační mechanismus. Ten bude sloužit k zajištění polohy i při transportu, kdy není robot pod napětím.



Obrázek 6.10 - Zobrazení funkčního celku - kloub č. 1

Výpočet těsného pera



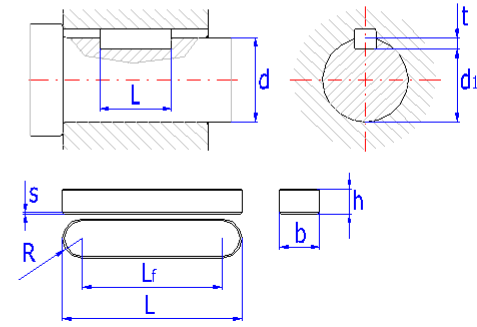
Obrázek 6.11 - Zobrazení přenosu M_k v kloubu č. 1

Výpočet těsného pera je proveden v programu Mitcalc, kde nejdůležitějším vstupním údajem je **kroucí moment 22,66 Nm**. Materiál hřídele je zušlechtěná uhlíková ocel a materiál náboje je hliníková slitina.

1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Společné vstupní údaje			
1.1	Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)	
1.2	Přenášený výkon	P	0,01 [kW]
1.3	Otáčky hřídele	n	3,0 [/min]
1.4	Kroucí moment	T	22,66 [Nm]
1.5	Způsob zatížení, provozní parametry		
1.6	Charakter pohonu	Rovnoměrný	
1.7	Typ zatížení	Plynulý	
1.8	Charakter provozu	Phě obousměrný	
1.9	Počet rozběhů v tisících	1	
1.10	Požadovaná životnost spoje	1000	[h]
1.11	Provedení spoje, předběžný návrh průměru hřídele		
1.12	Provedení spoje	Pevný spoj	
1.13	Vnitřní průměr dutého hřídele	d_h	0,000 [mm]
1.14	Požadovaná bezpečnost	s_f	1,50
1.15	Minimální průměr hřídele	d_{min}	7,9 [mm]
1.16	Materiál hřídele (min. pevnost v tahu) [tvrdost]		
1.17	B...Uhlíková ocel zušlechtěná (500) [HB 220-270]		<input checked="" type="checkbox"/>
1.18	Mez pevnosti v tahu	R_{min}	500 [MPa]
1.19	Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]
1.20	Dovolené napětí ve smyku	τ_D	200 [MPa]
1.21	Materiál náboje (min. pevnost v tahu) [tvrdost]		
1.22	H...Hliníková slitina (250)		<input checked="" type="checkbox"/>
1.23	Mez pevnosti v tahu	R_{min}	250 [MPa]
1.24	Dovolený tlak	p_D	90 [MPa]
1.25	Dovolené napětí ve smyku	τ_D	100 [MPa]
1.26	Provozní koeficienty		
1.27	Koeficient provedení spoje	K_d	1,0
1.28	Koeficient využití spoje	K_a	1,0
1.29	Koeficient životnosti	K_f	1,8
1.30	Koeficient opotřebení	K_w	2,8

Tabulka 6.4 - Vstupní údaje pro výpočet pera – parametry pohonu

2.0 <input checked="" type="checkbox"/> Parametry spoje, materiál pera, návrh rozměrů			
2.1 Parametry spoje			
2.2 Typ pera	F ... CSN 022562		
2.3 Počet per	1		
2.4 Koeficient rozložení zatížení	K_L	1,00	
2.5 Celkový provozní koeficient	K_S	0,56	<input checked="" type="checkbox"/>
2.6 Materiál pera (min. pevnost v tahu) [tvrdost]			
2.7	B...Uhlíková ocel zušlechťená (500) [HB 220-270]		
2.8 Mez pevnosti v tahu	R_{mmin}	500	[MPa]
2.9 Dovolený tlak	p_D	130	[MPa]
2.10 Dovolené napětí ve smyku	τ_D	200	[MPa]
2.11 Návrh rozměrů spoje			
2.12 Pera pro průměry		6 ~ 230	[mm]
2.13 Min. průměr hřídele	d_{1min}	7,9	[mm]
2.14 Průměr hřídele	d	13,000 13	[mm]
2.15 Pero		5 x 5	<input type="checkbox"/>
2.16 Šířka / výška pera	b / h	5 5	[mm]
2.17 Zaoblení pera / sražení hran	R / s	2,5 0,5	[mm]
2.18 Parametry drážky v hřídeli	t / d_1	2,9 10,1	[mm]
2.19 Minimální funkční délka pera	L_{fmin}	12,6	[mm]
2.20 Minimální délka pera	L_{min}	17,6	[mm]
2.21 Dovolený rozsah délek pera		12 ~ 56	[mm]
2.22 Zvolená délka pera	L	20,000 20	[mm] <input type="checkbox"/>



Tabulka 6.5 - Upřesněné parametry spoje

3.0 <input checked="" type="checkbox"/> Pevnostní kontroly spoje			
3.1 Kontrola hřídele na krut			
3.2 Dovolené napětí ve smyku	τ_D	200	[MPa]
3.3 Srovnávací napětí	τ	62,2	[MPa]
3.4 Bezpečnost		3,21	
3.9 Kontrola pera na otláčení			
3.10 Dovolený tlak	p_D	130	[MPa]
3.11 Srovnávací tlak	p	70,1	[MPa]
3.12 Bezpečnost		1,85	
3.5 Kontrola otláčení drážky hřídele			
3.6 Dovolený tlak	p_D	130	[MPa]
3.7 Srovnávací tlak	p	70,1	[MPa]
3.8 Bezpečnost		1,85	
3.13 Kontrola otláčení drážky náboje			
3.14 Dovolený tlak	p_D	90	[MPa]
3.15 Srovnávací tlak	p	50,3	[MPa]
3.16 Bezpečnost		1,79	

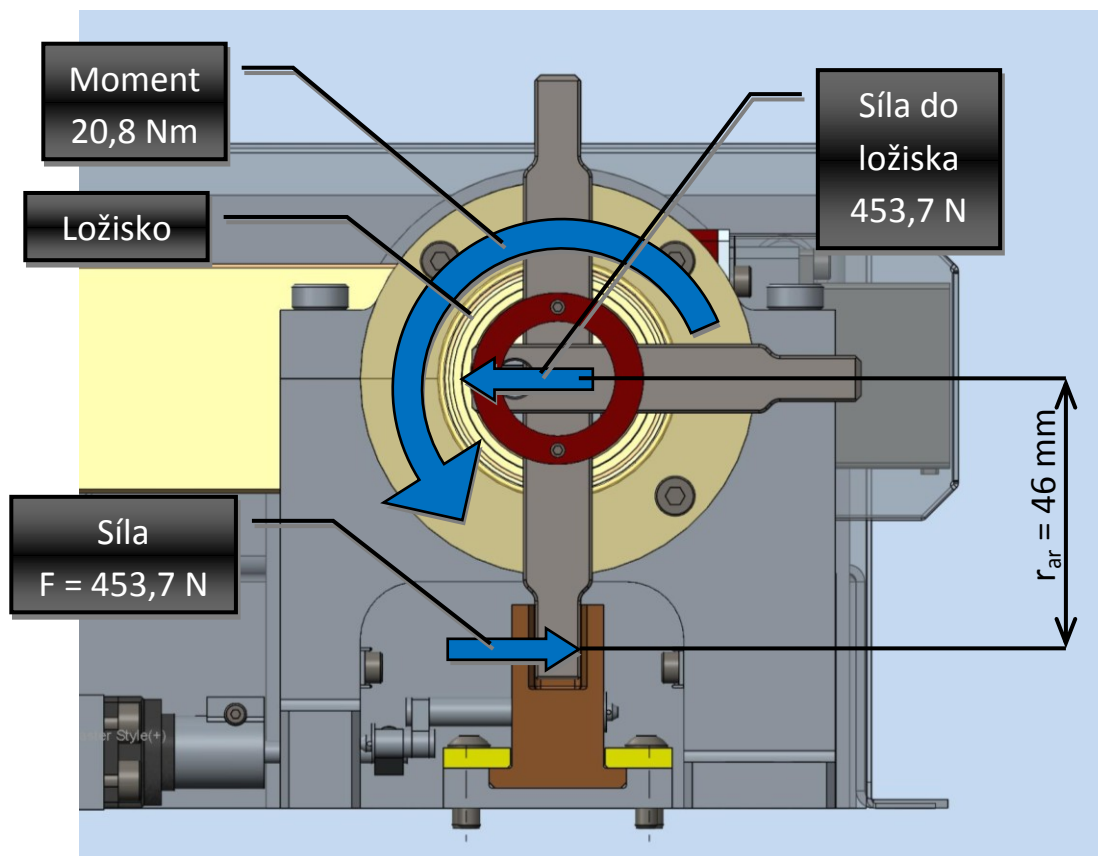
Tabulka 6.6 - Výsledek návrhu spoje pomocí těsného pera

Pro přenos kroutícího momentu z pohonu na otočné těleso je použito těsné pero 5x5x20 ČSN 02 2562. Tento výpočet zkontroloval také přírubovou hřídel na krut a výsledek ukázal bezpečnost 3,21. Bezpečnost u otláčení hliníkové drážky náboje je 1,79, což je plně vyhovující vzhledem k velmi klidnému chodu subsystému.

Tento typ spoje byl zvolen z důvodu úspory místa do šířky. Výhodou je, že pero je možné umístit pod ložisko, čímž získáme k dispozici jinak nevyužitelný prostor, například svěrný spoj by podle výpočtu potřeboval dalších 60 mm (kvůli měrnému tlaku na hliníkový náboj). Faktem je, že příruba serva je spojena s hřídelí právě svěrným spojem, ovšem výstupní hřídel serva je z kalené oceli. Výpočtově nebylo možné dosáhnout u vlastního svěrného spoje rozměrů jako má svěrný spoj příruby serva.

Výpočet ložiska v kloubu č. 1

Ložisko je počítáno pro situaci (viz obrázek 6.5), kdy je mechanismus zaaretován a do ložiska působí reakce od jisticího kolíku. V rámci bezpečnosti je celá síla směřována do jednoho ložiska.



Obrázek 6.12 - Výpočet síly působící do ložiska

Rameno od středu rotace
k styčnému bodu aretace

$$r_{ar} = 46 \text{ mm} \quad [6.45]$$

Maximální moment
(viz vzorec [6.20])

$$M_{\max} = 20,869 \text{ N} \cdot \text{m} \quad [6.46]$$


Síla působící do aretace

$$F = \frac{M_{\max}}{r_{ar}} = \frac{20,869}{0,046} = 453,669 \text{ N} \quad [6.47]$$

Samotný výpočet ložiska je proveden v programu Mitcalc.

1.0 ☒ **Volba typu ložiska, zatížení ložiska**

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Typ ložiska 
Kuličková ložiska jednořadá

1.7 Zatížení ložiska **Proměnlivé zatížení**

1.8 Otáčky	n	3,0	[/min]
1.9 Radiální zatížení	Fr	453,7	[N]
1.10 Axiální zatížení	Fa	0,0	[N]
1.11 Součinitel přídatných dynamických sil		1	

1.12 Požadované parametry ložiska

1.13 Trvanlivost ložiska	Lh	1000	[h]
1.14 Součinitel statické bezpečnosti	s0	2,00	

1.3 Provedení ložiska

1.4 Otevřené provedení

1.5 Samostatné ložisko

1.6 Normální ložisková vůle

1.15 Přídatné dynamické síly

1.16 ☒ Žádné

1.17 ☐ Od ozubených převodů

1.18 Běžná ozubená kola (úchytky tvaru a rozteče 0.02 až 0.1 mm)

1.19 Součinitel f_k 1,1 - 1,3 1,20 ☒

1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory

1.21 Součinitel f_d 1 - 1,2 1,10 ☒

1.22 ☐ Od řemenových převodů

1.23 Klíkové řemeny

1.24 Součinitel f_b 1,9 - 2,5 2,20 ☒

Tabulka 6.7 - Parametry zatížení ložiska

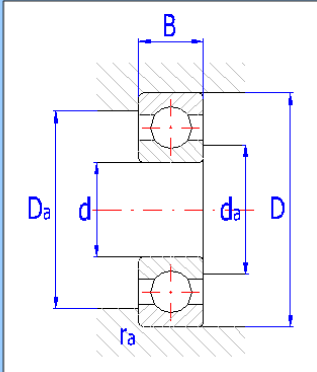
2.0 ☒ **Volba rozměrů ložiska**

2.1 Rozměry ložiska Vyhledat Hledat další

ID	d	D	B	C	C0	nr	nmax	Ložisko
77	30,0	42,0	7,0	4490	2900	32000	20000	61806

2.2 Parametry ložiska

2.3 Základní dynamická únosnost	C	4490	[N]	d	30
2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení	P	453,7	[N]	D	42
2.5 Základní trvanlivost	L10h	5384683	[h]	B	7
2.6 Základní statická únosnost	C0	2900	[N]	ramax	0,3
2.7 Statické ekvivalentní zatížení	P0	453,7	[N]	Damax	40
2.8 Součinitel statické bezpečnosti	s0	6,39		damin	32
2.9 Dovolené radiální zatížení	F _{rmax}	-	[N]		
2.10 Dovolené axiální zatížení	F _{amax}	-	[N]		
2.11 Referenční otáčky	nr	32000	[/min]		
2.12 Mezní otáčky	nmax	20000	[/min]		
2.13 Ztrátový výkon	NR	0	[W]		
2.14 Váha ložiska	g	0,027	[kg]		

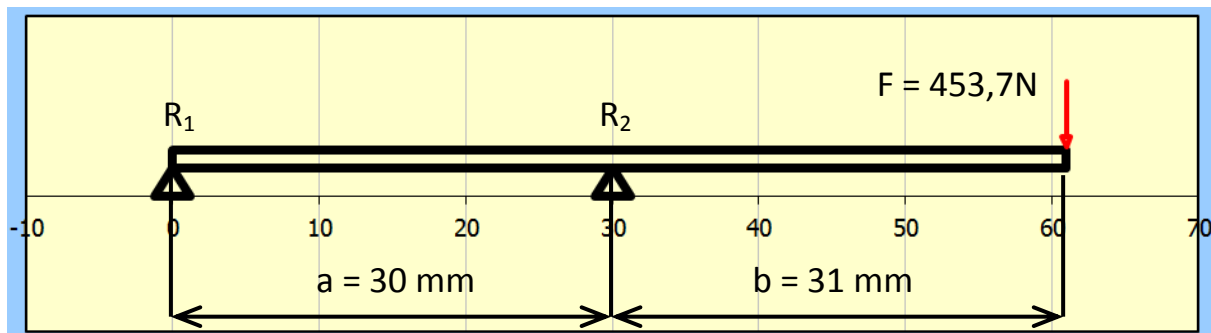


Tabulka 6.8 - Kontrolní výpočet zvoleného ložiska

Z geometrických důvodů je zvoleno ložisko **SKF 61806**. Síla působící do ložiska je $F = 453,7$ N, přičemž zvolené ložisko má statickou únosnost $C_0 = 2900$ N. Teoretická životnost při tomto zatížení byla spočtena na 614,69 let.

Výpočet průřezu jistícího kolíku

Řešená situace je znázorněna na obrázku 6.11. Z obrázku vyplývá, že je nutné provést návrh průřezu kolíku a následně jej zkontrolovat na ohyb. Konstrukce již nedovolovala zvětšování průřezu ve směru odpovídajícímu ose rotace. Výpočet byl proveden za pomoci programu Mitcalc v modulu pro výpočet nosníků.



Obrázek 6.13 - Výpočtový nosník

Výpočet reakcí v podporách je proveden podle obrázku 6.12.

Suma sil v ose y je rovna nule
$$\sum F_y = 0 \quad [6.48]$$

Suma momentů k bodu 1 je rovna nule
$$\sum M_1 = 0 \quad [6.49]$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_1 + R_2 = F \quad [6.50]$$

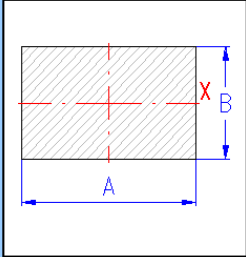
$$\sum M_1 = 0 \quad F \cdot (a + b) - R_2 \cdot (a) = 0 \quad [6.51]$$

$$R_2 = \frac{F \cdot (a + b)}{a} = \frac{453,7 \cdot (30 + 31)}{30} = 922,5 N \quad [6.52]$$

$$R_1 = F - R_2 = 453,7 - 922,5 = -468,8 N \quad [6.53]$$

Návrh průřezu byl proveden s ohledem na maximální rozměr $A = 6 \text{ mm}$, jelikož konstrukce již nedovolovala další nárůst šířky.

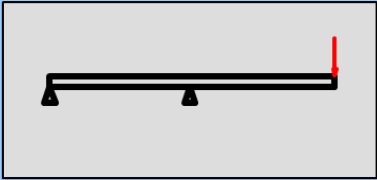
2.0 <input checked="" type="checkbox"/> Statické hodnoty profilu a materiálové hodnoty nosníku				
2.1	Profil nosníku			
2.2	Typ profilu	03...Obdélník A (Počítaný)		
2.3	Rozměr profilu	Prázdná tabulka		
2.4	Uživatelské parametry profilu	Ne		
2.5	Počet nosníků vedle sebe	1		
2.6	Plocha	A	72	[mm ²]
2.7	Kvadratický moment k ose	Ix	864	[mm ⁴]
2.8	Průřezový modul v ohybu	Sx	144	[mm ³]



A	6,00	[mm]
B	12,00	[mm]

Tabulka 6.9 - Průřez jisticího kolíku

3.3 Ohybový moment Min. / Max.	Mo	-14,06	0,00	[Nm]
3.4 Průhyb nosníku Min. / Max	y	-0,049	0,004	[mm]
3.5 Ohybové napětí Min. / Max	σ_b	-97,7	0	[MPa]
3.6 Hmotnost nosníku	m	0,0		[kg]
3.7 Max. délka volného konce (vybočení)	Lmax	75,0		[mm]
3.8 Relativní průhyb nosníku Max.	y'	0,158		[%]



Tabulka 6.10 - Parametry namáhání nosníku

Maximální napětí v ohybu čini

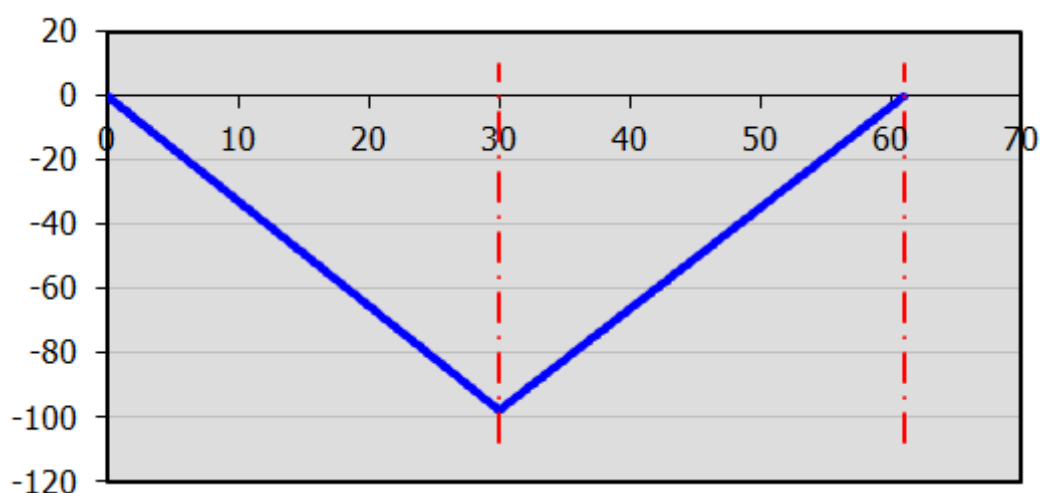
$$\sigma_{\text{omax}} = 97,7 \text{ MPa} \quad [6.54]$$

Dovolené napětí v ohybu pro mýjivé zatížení materiálu E360
(převzato ze Strojírenských tabulek [15])

$$\sigma_{\text{oD}} = 185 \text{ MPa} \quad [6.55]$$

Bezpečnost jisticího kolíku
pro napětí v ohybu

$$k = \frac{\sigma_{\text{oD}}}{\sigma_{\text{omax}}} = \frac{185}{97,7} = 1,9 \quad [6.56]$$

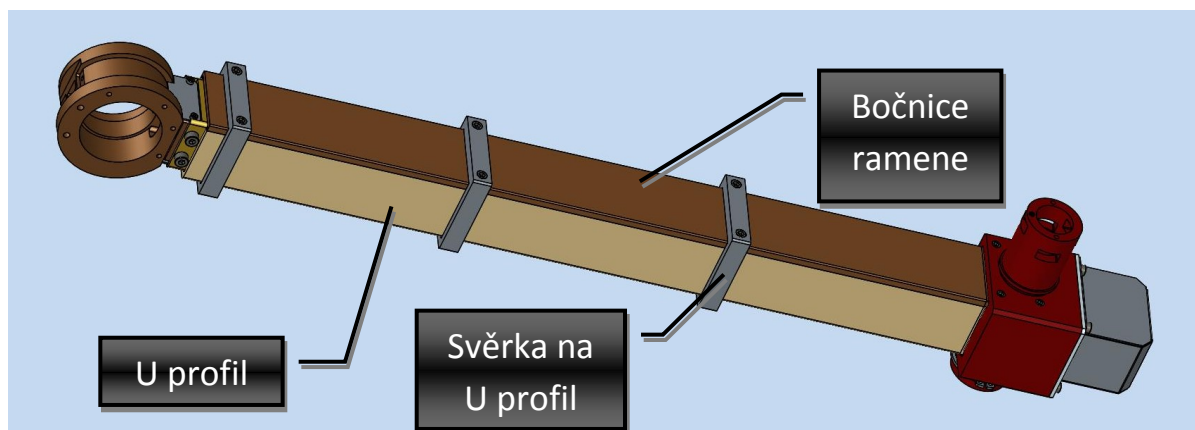


Obrázek 6.14 - Průběh ohybového napětí v jisticím kolíku

Ohybové napětí má své maximum v podpoře 2, (viz obrázek 6.12). Obdobný průběh má také ohybový moment, který působí na jisticí čep, z čehož vyplývá, že v oblasti zeslabení, (viz obrázek 6.11), již nedochází k tak velkému ohybovému momentu.

6.5 Konstrukční řešení teleskopického ramene

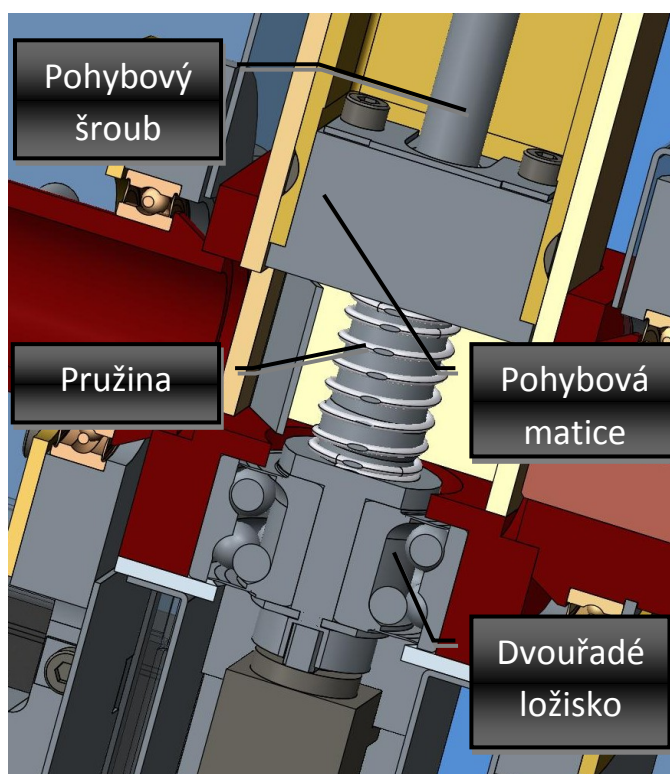
Teleskopické rameno umožňuje výsun o 394 mm. Vnější rameno je složeno z hliníkového U profilu a bočnice, tyto jsou navzájem sevřeny svěrkami na U profil. Vnitřní rameno je normalizovaný hliníkový jelek. Díky tomuto uspořádání je možné třecí plochy precizně opracovat, čímž se umožní bezproblémový teleskopický pohyb ramen.



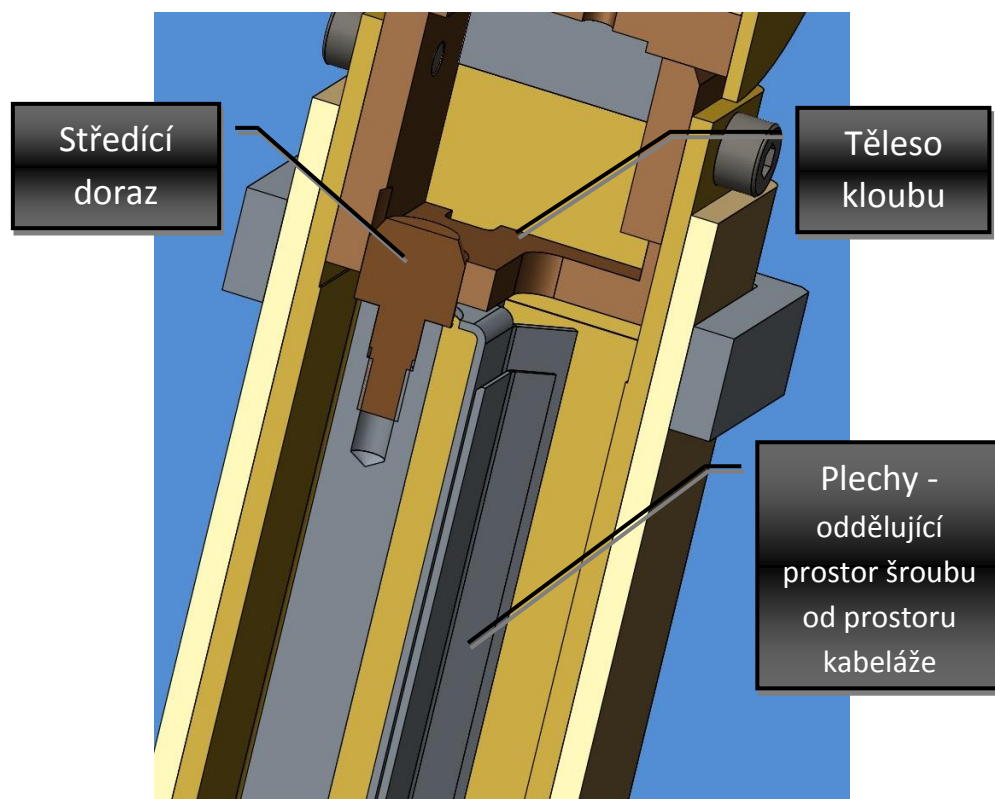
Obrázek 6.15 - Pohled na teleskopické rameno

Pohybový šroub je uložen v dvouřadém ložisku s kosoúhlým stykem, které je schopné zachytit klopné momenty. Dojezd matice do koncové polohy je tlumen pružinou. Zvolený servopohon je nutné mechanicky upravit pro kontinuální otáčení.

Použití pohybového šroubu v sobě pro tuto aplikaci skýtá několik výhod. V porovnání s hřebenem a pastorkem je výhoda toho, že těžké těleso čili pohybový šroub zůstává při základně. Další velkou výhodou je jeho samosvornost.



Obrázek 6.16 - Uložení pohybového šroubu



Obrázek 6.17 - Středění šroubu v pohotovostní poloze

Pohybový šroub je v pohotovostní poloze středěn za pomoci středícího dorazu, který zajede do tělesa kloubu. Tento doraz slouží také jako zajištění proti vyjetí matice ze šroubu. Při vysouvání ramene je podporou pro šroub pouze pohybová matice.

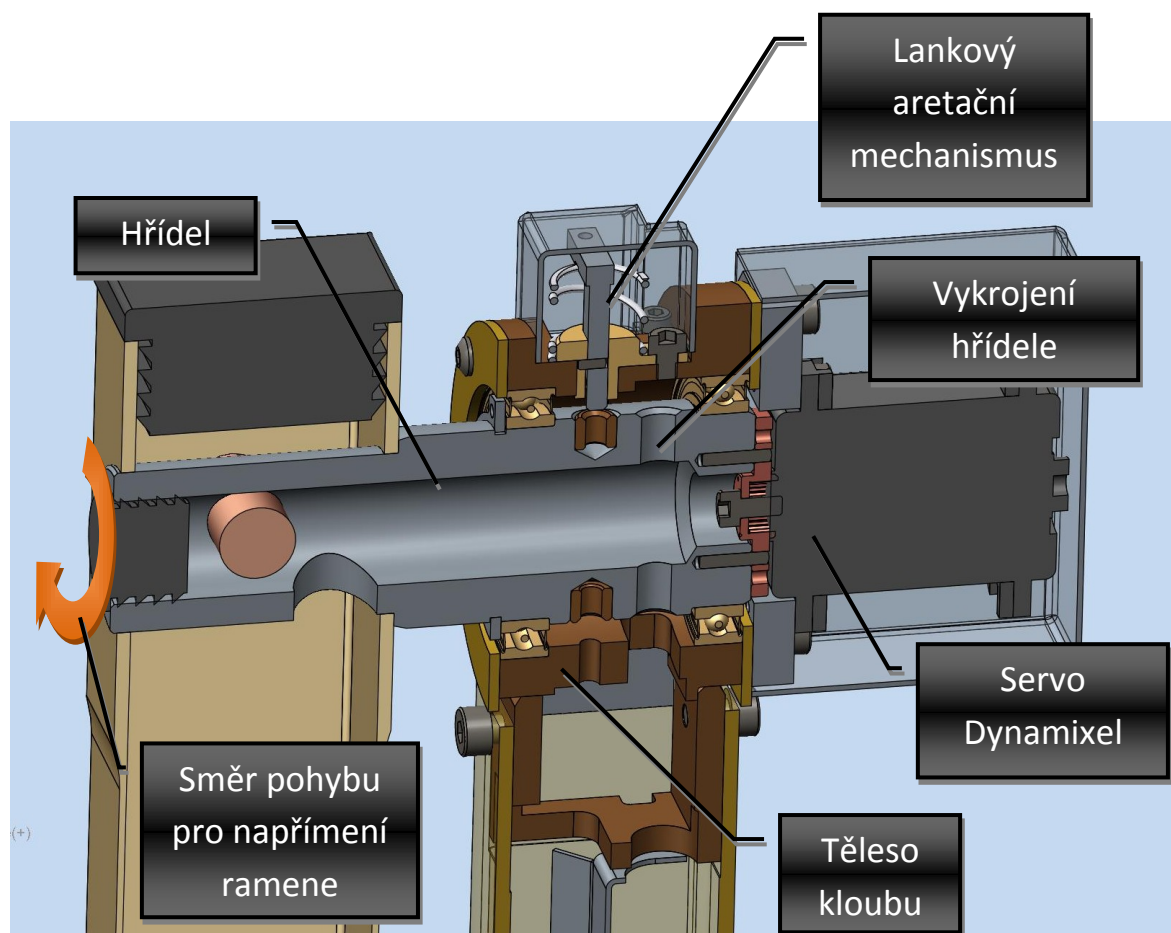
Veškerá kabeláž je vedena vnitřkem teleskopického ramene. Teleskopické plechy zajišťují bezpečné oddělení prostoru kabeláže od prostoru pohybového šroubu. Teleskopická funkce spočívá v tom, že jeden plech je spojen s maticí, tudíž se pohybuje s vnitřním ramenem, druhý plech je připevněn na otočné těleso (viz obrázek 6.10), které zůstává nehybné.

Ramena je možné eloxovat, díky čemuž vznikne tvrdá povrchová vrstva (běžně 5-20 μm). Tato vrstva má pórovitý charakter, což umožní pojmnutí lubrikantu pro zlepšení kluzných vlastností. [19]

6.6 Konstrukční řešení kloubu č. 2

Kloub č. 2 je umístěn až na teleskopickém rameni, tudíž rameno č. 3, se kterým tento kloub pohybuje, má neměnnou délku, což je výhodné z hlediska dimenzování potřebného pohonu. Jelikož zvolený pohon Dynamixel má dostatečný krouticí moment pro držení stálé polohy, je možné navržený aretační mechanismus zhotovit až v případě, že se ukáže jako nezbytný.

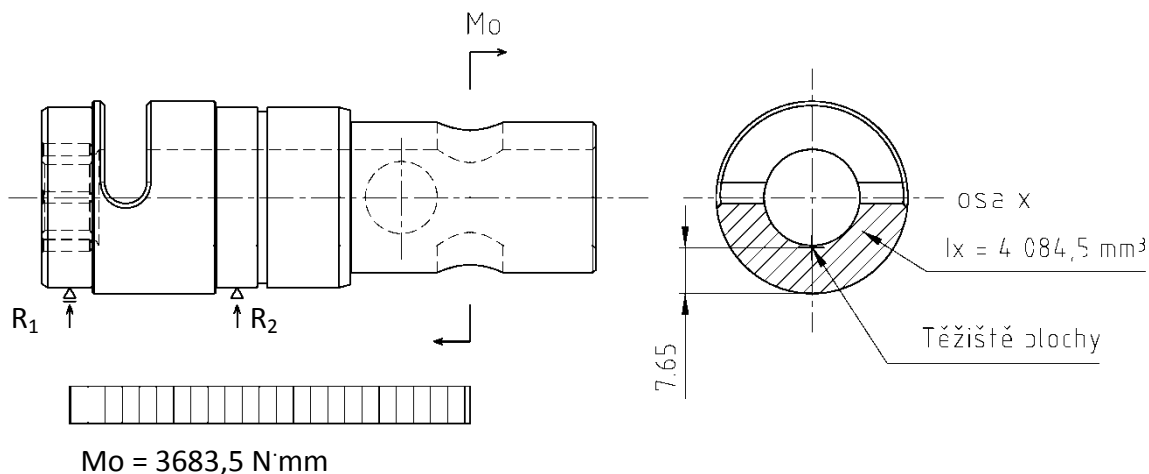
Vedení kabeláže vnitřkem hřídele je možné díky polovičnímu vykrojení v hřídeli. Díky tomuto vykrojení nebude docházet k ohýbání kabeláže při napřimování ramene, které se předpokládá jako nejčastější pohyb. K ohýbání kabeláže bude docházet pouze při nasměrování ramene směrem do zadní části robota. Kroucení kabeláže, které vznikne v prostoru dutého hřídele, již nepovažuji za kritické vzhledem k počtu a velikosti cyklů.



Obrázek 6.18 - Kloub č. 2

Kontrola hřídele na ohyb

Kontrola je provedena v situaci, kdy je rameno maximálně rozložené (viz obrázek 6.5). V této poloze na hřídel působí maximální ohybový moment (viz vzorec [6.26]). Kritický průřez je uvažován v místě vykrojení hřídele. Tato hřídel je vyrobena ze slitiny hliníku, čímž dojde k velké úspoře potřebného kroutícího momentu na prvním pohonu.



Obrázek 6.19 - Náčrt hřídele - zatížení, průřez

Ohybový moment (viz vzorec [6.23] a [6.26])	$M_o = G_2 \cdot r_2 = 8,806 \cdot 418,3 = 3683,5 N \cdot mm$	[6.57]
--	---	--------

Moment setrvačnosti plochy	$I_x = 4084,5 \text{ mm}^3$	[6.58]
----------------------------	-----------------------------	--------

Maximální vzdálenost od těžiště plochy k okraji průřezu	$R_{\max} = 7,65 \text{ mm}$	[6.59]
--	------------------------------	--------

Modul průřezu v ohybu	$W_o = \frac{I_x}{R_{\max}} = \frac{4234,7}{7,65} = 553,6 \text{ mm}^4$	[6.60]
-----------------------	---	--------

Ohybové napětí	$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{3683,5}{553,6} = 6,65 \text{ MPa}$	[6.61]
----------------	--	--------

Dovolené napětí v ohybu pro mýjivé zatížení pro hliníkovou slitinu (převzato ze Strojírenských tabulek [15])	$\sigma_{oD} = 60 \text{ MPa}$	[6.62]
---	--------------------------------	--------

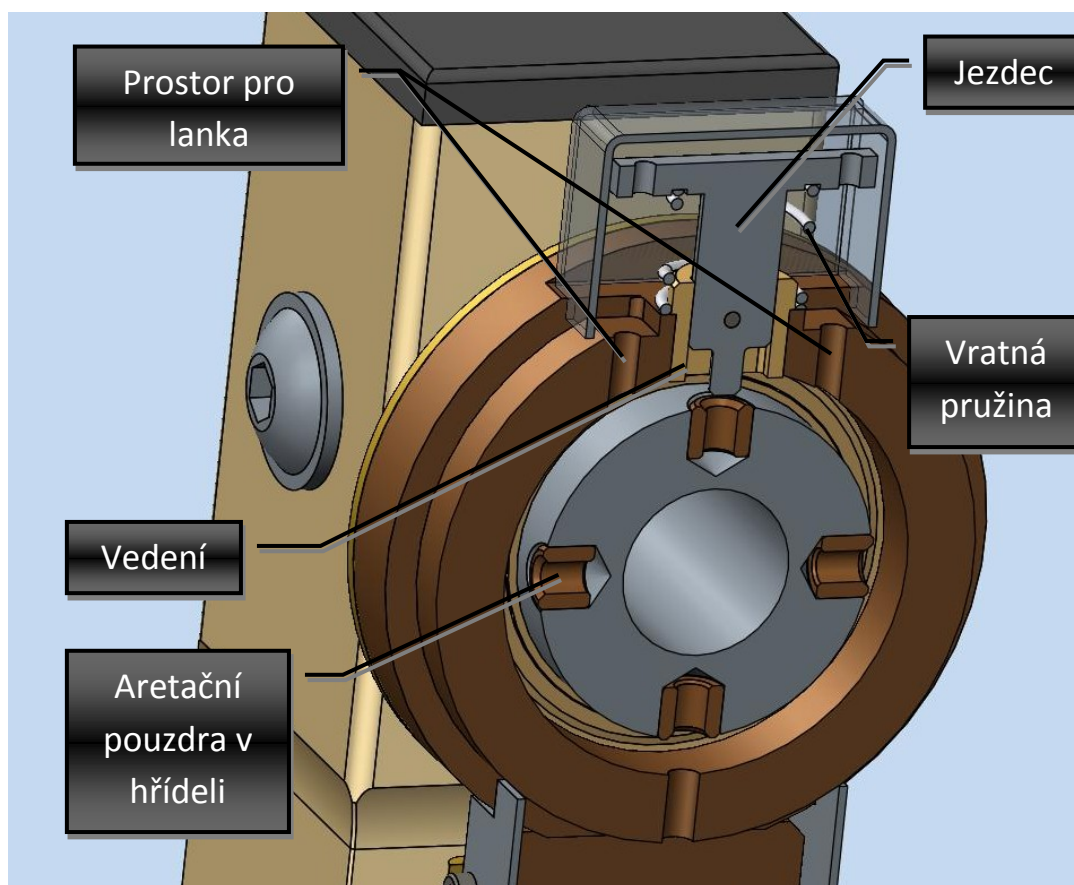
Bezpečnost hřídele pro napětí v ohybu	$k = \frac{\sigma_{oD}}{\sigma_o} = \frac{60}{6,65} = 9,0$	[6.63]
--	--	--------

Lankový aretační mechanismus

Slouží pro zaaretování hřídele v základních polohách. Princip aretace spočívá v zajetí jezdce do aretačního pouzdra v hřídeli. Pohyb zajetí bude vyvozen lankem, které bude na jednom konci pevně uchyceno k otočnému tělesu (viz obrázek 6.10) a druhý konec bude spojen s jezdce. Lanko musí mít přesně takovou délku, aby při maximálním vysunutí teleskopického ramene došlo k požadovanému zaaretování. Zpětný pohyb jezdce zajišťuje vratná pružina, která má vratnou sílu dimenzovanou na 30 N.

Výhoda použití tohoto mechanismu tedy spočívá v tom, že pro držení pozorovací polohy není nutné napájet servopohon.

Pohon Dynamixel je schopen držet požadovanou polohu sám, proto je tento jistící mechanismus možné zhotovit až dodatečně, pro případ že se ukáže jako nezbytný.

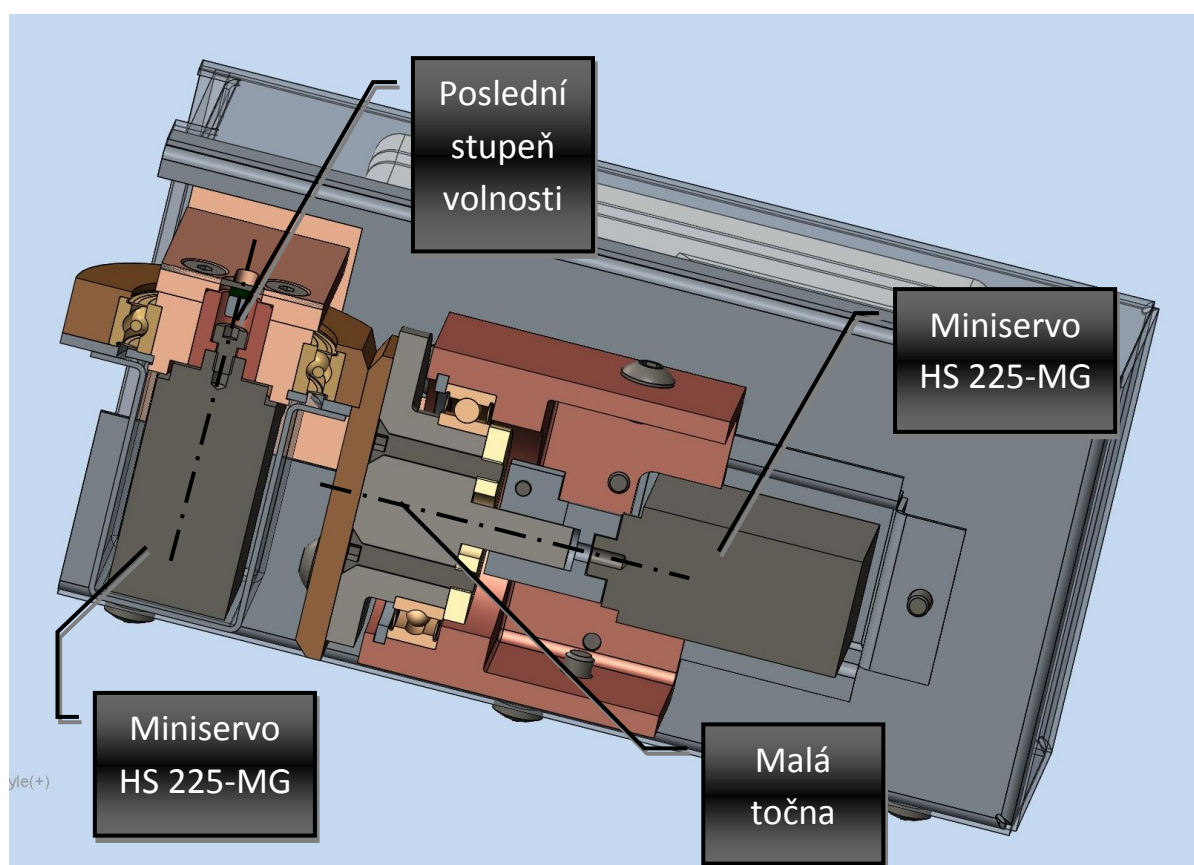


Obrázek 6.20 - Lankový aretační mechanismus

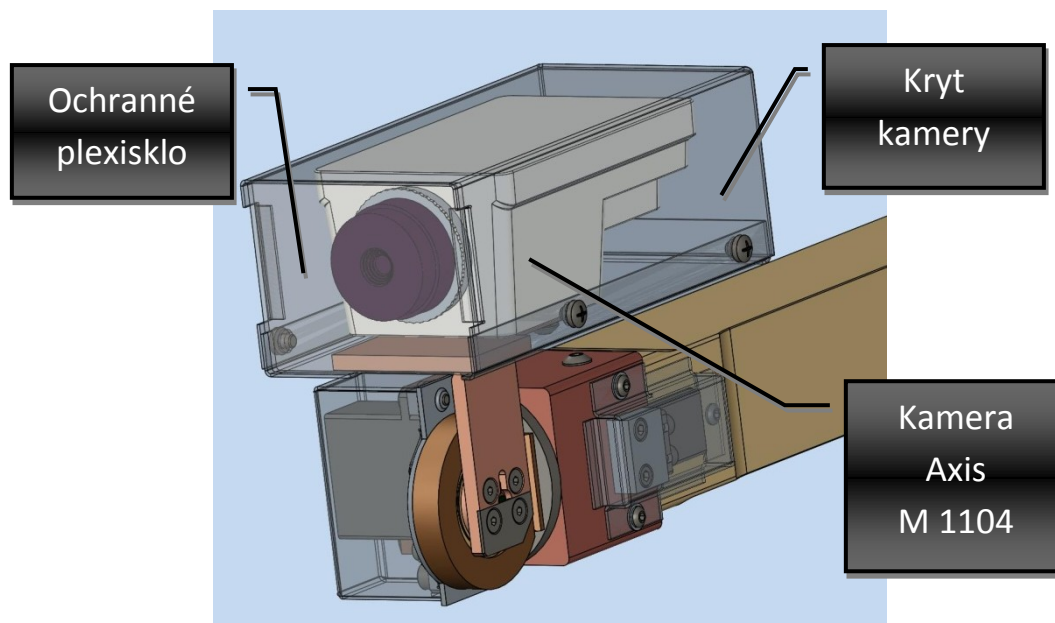
6.7 Konstrukční řešení kloubu kamery

Poslední dva klouby jsou pojaty jako orientační ústrojí robotu, jedná se o dva rotační pohyby řazené ihned za sebou. První v řetězci je umístěna malá točna, jež při pozorování zajistí rotaci kamery kolem svislé osy. Poslední stupeň volnosti umožňuje naklápění kamery kolem horizontální osy.

Jako pohon jsou zde použity miniserva Hitec HS 225-MG, přičemž servo pro malou točnu je nutné mechanicky upravit na rozsah otáčení větší než 180°. Standardní serva mají výstupní hřídel opatřenou speciálním tisícihranem, proto je zde zapotřebí použít spojky k tomu určené. Americký e-shop Servocity.com nabízí své komerční spojky, které jsou po určité úpravě použity v tomto řešení.



Obrázek 6.21 - Kloub kamery - řez vedený osami rotace

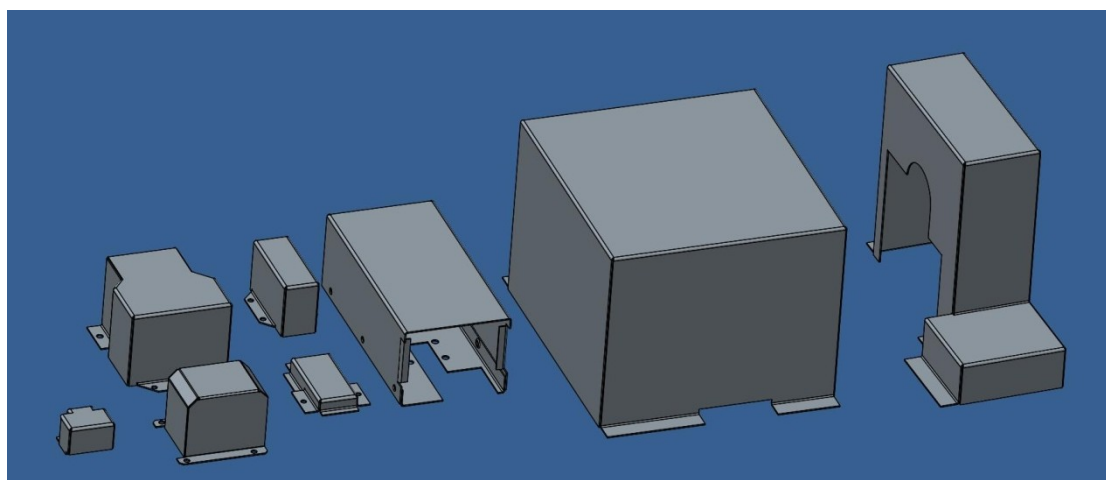


Obrázek 6.22 - Celkový pohled na orientační ústrojí kamery

Použitá kamera Axis M 1104 je barevná IP kamera s HDTV rozlišením (1280x800 / 30 fps) napájená přes ethernetový kabel. Snímaný obraz je přenášén taktéž pomocí ethernetového kabelu. [20] Kamera je umístěna v plechovém krytu s ochranným plexisklem, které zajišťují ochranu před mechanickým poškozením a povětrnostními vlivy.

6.8 Krytování

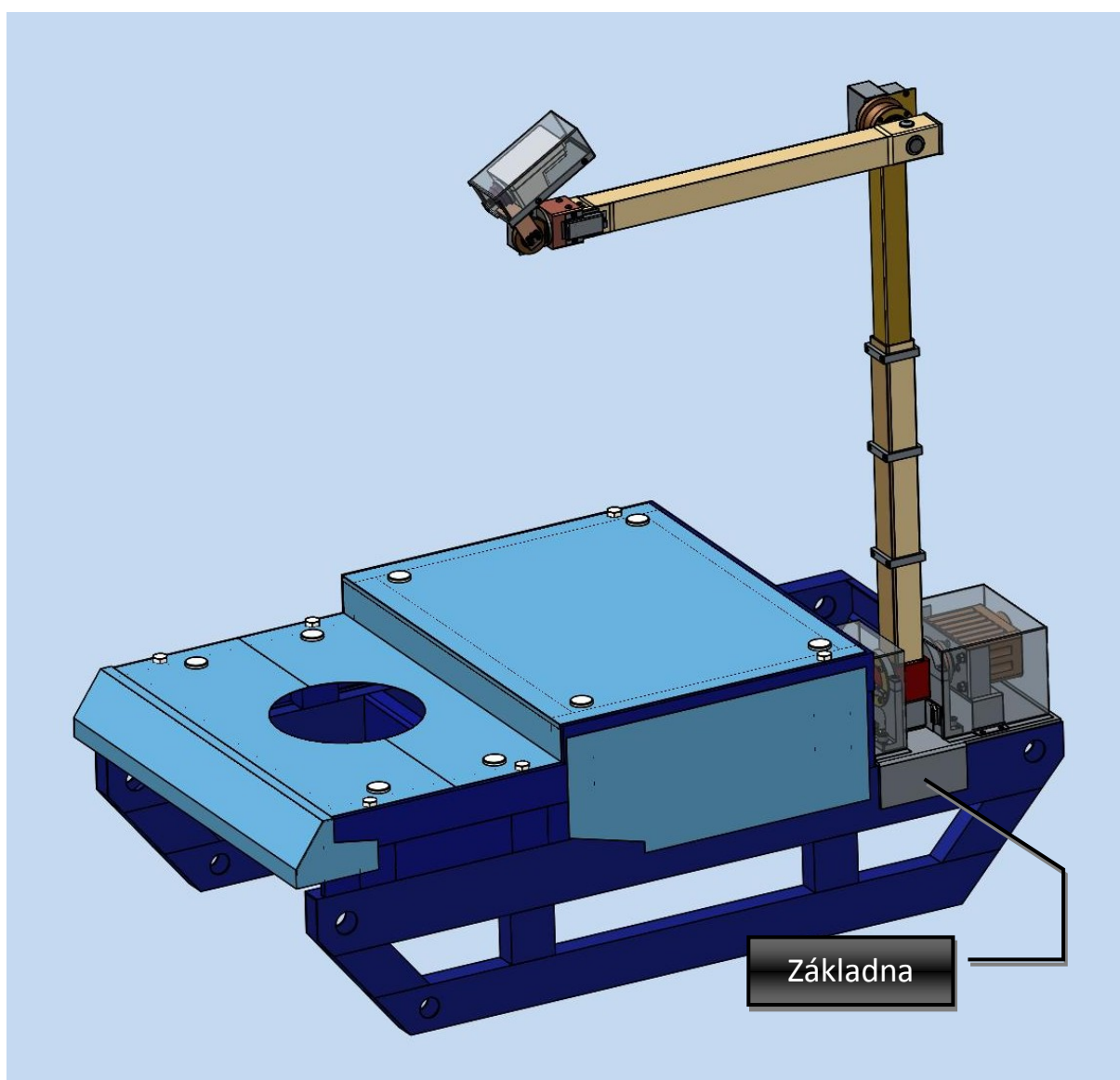
Na kamerový subsystém je navrženo krytování z hliníkového plechu o tloušťce 0,8 mm. Toto krytování spolu s těsněním poskytne subsystému ochranu proti mechanickému poškození, prachu a jiným nečistotám. Částečná voděodolnost je taktéž předpokládána. Vyrobitelnost plechových dílů je v konečné fázi doporučeno konzultovat s odborníkem.



Obrázek 6.23 - Plechové kryty použité na subsystému

7 Umístění kamerového subsystému na robotu

Kamerový subsystém je umístěn v zadní části robotu, kde je připevněn k základně, která je ze 4 mm silného plechu. Konstrukce subsystému je k této základně přišroubována a přesně ustavena pomocí válcových kolíků. Tento způsob osazení bude vyžadovat minimální úpravy na rámu robotu.



Obrázek 7.1 - Umístění kamerového subsystému na robotu

8 Cenový odhad

V této kapitole je proveden hrubý cenový odhad výroby jednoho prototypu. Cena servopohonů je uvedena přesně včetně ceny v původní měně. Odhad nákladů na vyráběné díly je s největší pravděpodobností určen s největší odchylkou od skutečné ceny. Položka ostatní normalizované díly zahrnuje např. spojovací materiál a ložiska. V ceně projektu nejsou zahrnuty montážní práce a případné konstrukční korektury.

Položka	Ks	Cena v původní měně	Cena v Kč
Servo Torxis I00600	1	290 USD	5 500 Kč
Servo Dynamixel Rx-64	1	280 USD	5 300 Kč
Servo Hitec HS 225-MG	3	3x26 USD = 78 USD	3x490 = 1 470 Kč
Servo Hitec HS 5625-MG	1	47 USD	880 Kč
Kamera Axis M 1104	1	-	7 600 Kč
Vyráběné díly	-	-	35 000 Kč
Hliníkové profily včetně práce	cca 4	-	800 Kč
Plechové díly	cca 15	-	15 000 Kč
Ostatní normalizované díly	-	-	2 500 Kč
Ostatní	-	-	1 500 Kč
Celkem			75 550 Kč

Tabulka 8.1 - Cenový odhad

9 Závěr

Kamerový subsystém je nepostradatelným prvkem výbavy mobilního robota, který má vykonávat svoji činnost mimo vizuální dosah operátora. Pro tuto činnost je výhodnější kamerový subsystém umožňující polohování kamery nezávisle na poloze robota, který nabízí mnohem lepší pozorovací možnosti v porovnání se stacionárně umístěnou kamerou. Pásový robot Ares zhotovený na Katedře robototechniky, takovouto výbavu doposud postrádal. Z této skutečnosti vyplynulo zadání této bakalářské práce.

Samotnému konstrukčnímu návrhu kamerového subsystému předcházela analýza již zhotovených konstrukcí, včetně jednotlivých prvků. Následovalo vypracování čtyř variant s rozdílnou kinematickou strukturou, ze kterých byla vybrána optimální varianta na základě hodnotové analýzy, jež byla následně rozpracována do detailní konstrukce.

Stěžejní část práce řeší detailní konstrukci kamerového subsystému s důrazem na funkčnost zařízení, jednoduchost konstrukce a co možná nejnížší výrobní náklady. Při konstrukci bylo použito především hliníkových slitin z důvodu malé hustoty materiálu a dobré korozní odolnosti. Subsystém má pět pohybových os poháněných modelářskými servy, které jsou použity pro jejich snadné řízení, dobré výkonnostní parametry a především příznivou cenu. Nosné prvky jednotlivých ramen jsou zkonstruovány z normalizovaných hliníkových profilů, přičemž teleskopické rameno má vnější část zhotovenou ze dvou dílů z důvodu přesného opracování třecí plochy.

Maximální dosah kamerového subsystému je 1,5 metru, díky čemuž je možné napolohovat kameru do dostatečné výšky pro pozorování celého pracovního prostoru robota. Orientování kamery je zajištěno posledními dvěma stupni volnosti, které umožňují natočení kamery do požadovaného směru. Konstrukce zahrnuje krytování poskytující ochranu proti mechanickému poškození a povětrnostním vlivům. Výše zmíněné prvky vyhovují zvoleným požadavkům na konstrukci.

Pro finální realizaci navrženého kamerového subsystému je nutné vyřešit řízení všech pohonů, zapojení kabeláže a přenos signálu k operátorovi. Před výrobou všech krytů je doporučena konzultace s odborníkem na plošné tváření, a následná korekce modelů. Ke krytování je nutné dořešit veškeré těsnění.

10 Seznam použité literatury

- [1] ŽÁK, Jan. Výběr kamer. *Batechnik.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-10-08]. Dostupné z: <http://www.batechnik.cz/fotky/fotov/>
- [2] FOCUS SYSTEM S.R.O. Kdy lze použít infra přisvícení. *Focus-system.eu* [online]. 2007 [cit. 2011-10-08]. Dostupné z: [http://www.focus-system.eu/faqs.htm#Kdy lze použít infra přisvícení?](http://www.focus-system.eu/faqs.htm#Kdy_lze_pouzit_infra_prisviceni?)
- [3] ESCAD® TRADE S.R.O. IR světelné zdroje. *Escadtrade.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-10-08]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/2-ir-svetelne-zdroje.html>
- [4] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [5] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory. *Robotika.cz* [online]. 2002-10-28 [cit. 2011-10-10]. Dostupné z: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [6] ÚSTAV MECHATRONIKY A TECHNICKÉ INFORMATIKY. Světelná technika. *Ústav mechatroniky a technické informatiky* [online]. 2005 [cit. 2011-10-08]. Dostupné z: www.mti.tul.cz/files/eloA/14-pr_Svetelna_technika_RAC.ppt
- [7] J + M VÝPOČETNÍ TECHNIKA. Popis IP kamery. *Nej ceny.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-10-14]. Dostupné z: <http://www.nej-ceny.cz/clanky/nevite-si-rady-s-vyberem/nevite-si-rady-s-vyberem-kameroveho-systemu--popis-a-zaklady-ip-kamer-a-jejich-pripojeni/>
- [9] SKAŘUPA, Jiří. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. 1. vydání. Ostrava : VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0.
- [10] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [11] RAVEO S.R.O. [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz>
- [12] RAVEO S.R.O. Polohovací systémy s integrovaným hřebenem. *Raveo* [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/hreben>
- [13] RAVEO S.R.O. Lineární motory. *Raveo* [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/linearni-motory-prehled>

- [14] ARNOŠT, D. Systémy průmyslového vidění a snímání 3D obrazu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.
- [15] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: ALBRA, 2003, 865 s. ISBN 80-864-9074-2.
- [16] INVENSICENCE LC. Torxis Rotary Servos. *Invenscience LC* [online]. 2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: http://www.invenscience.com/index_files/Page923.htm
- [17] TROSSEN ROBOTICS. Dynamixel RX-64 Robot Actuator from Robotis. *Trossen Robotics* [online]. 2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.trossenrobotics.com/dynamixel-rx-64-robot-actuator.aspx>
- [18] ROBOTZONE, LLC. HS-225MG Mighty Mini. *ServoCity* [online]. 2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: http://www.servocity.com/html/hs-225mg_mighty_mini.html
- [19] BÁRTA A CIHLÁŘ, spol. s.r.o. Eloxování hliníku. *Bárta a Cihlár - povrchové technologie* [online]. 2009 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.povrchove-technologie.cz/cz/technologie/eloxovani-hliniku/>
- [20] ESCAD TRADE S.R.O. AXIS M1104 megapixelová barevná IP-kamera. *ESCAD trade* [online]. 2012 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/axis-m1104-megapixelova-barevna-ip-kamera-h-264-rozliseni-hdtv-napajeni-poe.html?detail=1>
- [21] ORPHEUS ROBOTIC SYSTEM PROJECT ENTRIES. Orpheus Robotic System Project: Orpheus AE2 – Explorer. *Orpheus Robotic System Project* [online]. 2012 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: http://www.orpheus-project.cz/?page_id=46

11 Seznam příloh

Příloha A – Katalogový list kamery Axis M1104

Příloha B – Výkres Sestava – BC-01-00

Příloha C – Výkres Uložení 1. kloubu – BC-02-00

Příloha D – Výkres Teleskopické rameno – BC-03-00

Příloha E – Výkres Kloub č.2 – BC-04-00

Příloha F – Výkres Rameno č.3 – BC-05-00

Příloha G – Výkres Kloub kamery – BC-06-00

Příloha H –Bakalářská práce na CD



AXIS M11 Network Camera Series

Compact and affordable high-resolution cameras for professional surveillance.



- > Excellent image quality
- > Multiple H.264 streams
- > Power over Ethernet
- > Pixel counter
- > Digital PTZ

AXIS M11 Series offers professional and cost-effective fixed cameras suitable for a wide range of video surveillance applications, such as for retail and banking as well as libraries and other office buildings.

AXIS M11 Network Camera Series offer excellent image quality with progressive scan and providing crisp and clear images of both illuminated and low-light areas. AXIS M11 Series ranges from SVGA-resolution cameras to 1-megapixel cameras, which also provide HDTV 720p full frame rate video.

Multiple H.264 streams, as well as Motion JPEG streams, can be provided either in full frame rate or individually optimized for different quality needs and bandwidth constraints.

Power over Ethernet supplies power to the cameras via the network, eliminating the need for power cables and reducing installation costs.

The pixel counter further helps the installer verify that the pixel resolution of an object or face fulfills regulatory or specific customer requirements, for example, for facial identification purposes.

AXIS M11 Series supports digital pan/tilt/zoom, which allows a view cropped from the full view to be streamed for viewing or recording.



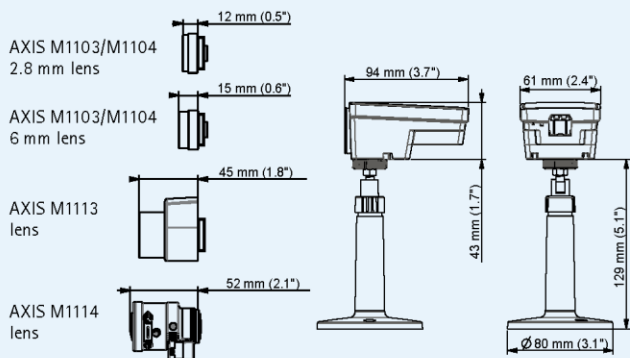
Technical Specifications – AXIS M11 Network Camera Series

Camera		System integration	
Models	AXIS M1103, fixed focal lens: SVGA resolution AXIS M1104, fixed focal lens: 1 MP/HDTV 720p AXIS M1113, varifocal, DC-iris lens: SVGA resolution AXIS M1114, varifocal, DC-iris lens: 1 MP/HDTV 720p	Application Programming Interface	Open API for software integration, including VAPIX® from Axis Communications, specifications available at www.axis.com Support for AXIS Video Hosting System (AVHS) with One-Click Camera connection
Image sensor	1/4" progressive scan RGB CMOS	Intelligent video	Video motion detection, active tampering alarm
Lens	AXIS M1103 2.8 mm: 66° view*, F2.0, fixed iris, CS mount AXIS M1103 6 mm: 31° view*, F1.8, fixed iris, CS mount AXIS M1104 2.8 mm: 80° view*, F2.0, fixed iris, CS mount AXIS M1104 6 mm: 37° view*, F1.8, fixed iris, CS mount AXIS M1113: Varifocal 2.9 – 8.2 mm: 65° – 25° view*, F1.4, DC-iris, CS mount AXIS M1114: Varifocal 2.8 – 8 mm: 87° – 29° view*, F1.2, DC-iris, CS mount *horizontal angle of view	Alarm triggers	Intelligent video
Light sensitivity/Min. Illumination	AXIS M1103/AXIS M1104 2.8mm: 1.0 – 100000 lux, F2.0 AXIS M1103/AXIS M1104 6mm: 0.9 – 100000 lux, F1.8 AXIS M1113: 0.6 lux, F1.4 AXIS M1114: 0.6 lux, F1.2	Alarm events	File upload via FTP, HTTP and email Notification via email, HTTP and TCP
Shutter time	1/24 500 s to 1/6 s	Video buffer	25 MB pre- and post alarm
Video		Installation aids in software	Pixel counter
Video compression	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC) Motion JPEG	General	
Resolutions	AXIS M1103/AXIS M1113: 800x600 to 160x90 AXIS M1104/AXIS M1114: 1280x800 to 160x90	Casing	Aluminum and plastic
Frame rate H.264	30 fps in all resolutions	Processor and memory	ARTEC-3, 128 MB RAM, 128 MB Flash
Frame rate Motion JPEG	30 fps in all resolutions	Power	Power over Ethernet IEEE 802.3af Class 1
Video streaming	Multiple, individually configurable streams in H.264 and Motion JPEG Controllable frame rate and bandwidth VBR/CBR H.264	Connectors	RJ-45 10BASE-T/100BASE-TX PoE
Pan/Tilt/Zoom	Digital PTZ, preset positions, guard tour	Operating conditions	-20 – 50°C (-4 – 122°F) Humidity 20 – 80% RH (non-condensing)
Image settings	Compression, color, brightness, sharpness, contrast, white balance, exposure control, exposure zones, backlight compensation, fine tuning of behavior at low light, rotation, mirroring of images Text and image overlay Privacy mask	Approvals	EN 55022 Class B, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55024, FCC Part 15 Subpart B Class B, ICES-003 Class B, VCCI Class B, C-tick AS/NZS CISPR 22, KCC Class A, EN 60950-1
Network		Weight	AXIS M1103/AXIS M1104: 170 g (0.37 lb.) AXIS M1113: 200 g (0.44 lb.) AXIS M1114: 210 g (0.46 lb.)
Security	Password protection, IP address filtering, HTTPS** encryption, digest authentication, user access log	Included accessories	Stand, Installation Guide, CD with installation tools, recording software and User's Manual, Windows decoder 1-user license
Supported protocols	IPv4/v6, HTTP, HTTPS**, QoS Layer 3 DiffServ, FTP, SMTP, Bonjour, UPnP, SNMPv1/v2c/v3(MIB-II), DNS, DynDNS, NTP, RTSP, RTP, TCP, UDP, IGMP, RTCP, ICMP, DHCP, ARP, SOCKS	Optional accessories	Various housings AXIS T8412 Installation Display AXIS P8221 Network I/O Audio Module Lenses
		Video management software (not incl.)	AXIS Camera Station – Video management software for viewing and recording up to 50 cameras. For more software application via partners, see www.axis.com/products/video/software/

** This product includes software developed by the OpenSSL Project for use in the OpenSSL Toolkit. (www.openssl.org)

More information is available at www.axis.com

Dimensions



Optional accessories

AXIS T8412 Installation Display



AXIS P8221 Network I/O Audio Module

